

AZ ELMÉLETI
MECHANIKAI TECHNOLOGIA ALAPELVEI
ÉS A FÉMEK TECHNOLOGIÁJA

IRTA

REJTŐ SÁNDOR

GÉPÉSZMÉRNÖK,
MŰEGYETEMI TANÁR, A M. T. AKADÉMIA LEV. TAGJA,
A SZT. ISTVÁN AKADÉMIA RENDES TAGJA

MÁSODIK KÖTET

A KÜLSŐ ERŐK HATÁSA A SZILÁRD ANYAGOK
MECHANIKAI TULAJDONSÁGAIRA

188 CSOPORTBA FOGLALT 608 ÁBRÁVAL

BUDAPEST

KILIÁN FRIGYES UTÓDA, M. KIR. EGYETEMI KÖNYVKERESKEDÉS BIZOMÁNYA

1918

SZERZŐI JOGAINKAT FENNTARTJUK

ELŐSZÓ.

Elméleti mechanikai technológiám e második kötetében a *külső erőknek a szilárd anyagok mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatásán* kívül azokat az *alakításokat* is tárgyalom, amelyek az *anyag halmazállapotának megváltoztatása nélkül* végezhetők el.

Fejtegetéseim alapja az első kötetben ismertetett molekuláris hipotézis.

Ennek segítségével részletesen kidolgozhattam technikai tudományunknak azt a legfiatalabb ágát, amelyet a *maradó alakváltozások mechanikájának* szokás nevezni s amely nemcsak a technológiának, hanem az anyagvizsgálatnak és a gépelemeket tárgyaló gépszerkezettannak is útmutatást nyújt.

Minthogy munkám a természettudományok alkalmazásával foglalkozik, minden elméleti fejtegetésnek helytállóságát beható kísérletekkel ellenőriztem. A rendelkezésemre állott felszerelések szükségessé vált módosítását, valamint a kísérletek gondos végrehajtását *Csonka János* laboratóriumom gépi berendezésének vezetője oly odaadással és annyi szeretettel végezte, hogy e helyen köszönetemet elsősorban neki fejezem ki. Köszönettel tartozom dr. *Bresztovszky Béla* tanártársamnak is azért, hogy megengedte, hogy a csavaró- és a bemetszett rudakkal való ütő kísérleteimet az ő laboratóriumában elvégezzem. Nagy hálával tartozom szorosabb értelemben vett munkatársaimnak, nevezetesen asszisztenseimnek és adjunktusaimnak, különösen pedig *Puskás Lajos* és *Túry Pál* adjunktusoknak, akik a kísérletek eredményeinek feldolgozásában, valamint az ábrák megrajzolásával hathatósan támogattak. Nem kisebb hálára kötelezett dr. *Miklósi Kornél* volt adjunktusom is azzal, hogy a nyomdai korrektúrák fáradságos munkáját magára vállalta.

Munkám e második kötetét azzal a reménnyel bocsátom szaktársaim rendelkezésére, hogy megírásával a technikai tudományoknak s így az iparnak is jó és hasznos szolgálatot tettem.

Hogy célomat mennyire sikerült elérnem, annak elbírálására szaktársaim hivatottak, akiket azonban annak a figyelembevételére kérek, hogy egy új tudományág kidolgozása és rendszerbefoglalása rendes viszonyok között is nehézségekkel jár s hogy e nehézségek a háború utolsó éveiben kiállott izgalmak folytán fokozódtak.

Budapest, 1918. évi november havában.

Rejtő Sándor.

TARTALOM

Bevezetés	Oldal 1
-----------------	------------

A KÜLSŐ ERŐ HATÁSA AZ ANYAGOK SZERKEZETÉRE.

ÁLTALÁNOS RÉSZ.

A MARADÓ ALAKVÁLTOZÁSOK MECHANIKÁJA.

1. A külső erő hatásának módjai	7
I. Az alakváltozások fizikai okai.	
A) <i>A tér egy irányában működő, folytonosan növekedő, egyenletesen elosztott, lassan ható erők, vagyis a húzás és a nyomás</i>	7
2. A húzó- és nyomóerő hatása	7
a) Az erőhatások alatt végbemenő rugalmas sűrűség-változások	7
3. Az elemi csoportok sűrűségváltozása	7
4. A kohézió körzete és ennek helyzete a belső erők ábráján	9
b) Az elmozdulások tovaterjedése	10
5. Az elmozdulások ábrázolása	10
6. A test fősíkjában észlelhető elmozdulások irányvonalainak hálózata	11
c) Az elmozdulások fajtái	13
7. Az elmozdulások minőségét befolyásoló körülmények	13
α) Amorf anyagok	14
8. A rugalmas, az ideig tartó és a maradó alakváltozások	14
α ₁) A kohézió körzete jóval magasabban fekszik a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjánál	15
9. A külső erő rugalmas alakváltozása	15
10. A rugalmas sűrűségváltozás	15
11. Az arányosság törvénye	16
12. A rugalmas méretváltozás határa	17
β ₁) A kohézió körzete a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjához közel áll	17
13. A külső erő rugalmas és képlékeny alakváltozást okozhat	17
14. Amorf anyagoknál az elmozdulás irányának szöge	18
γ ₁) A kohézió körzete alatta van a változását jelző hiperbola csúcspontjának	19
15. A külső erő főleg képlékeny alakváltozást okoz	19

	Oldal
β) Kristályos anyagok	19
16. A kristályos anyag különleges sajátossága. A késleltetett harmonikus forgás	19
17. A szívósság lényege	20
18. Ferde irányú erők komponenseinek hatása	20
19. A diszharmonikus mozgás befolyása az állapotábrára	21
α ₁) A kohézió körzete jóval magasabban fekszik a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjánál	22
20. A szívósan rugalmas anyagok	22
21. A szívósan rugalmas anyagok törési határa	23
β ₁) A kohézió körzete közel van a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjához	23
22. A szívósan képlékeny anyag	23
23. Az orientálódás és a méretnövelés közötti összefüggés	23
24. A szemcse közötti kohézió befolyása az alakváltozásra	24
25. EWING és ROSENHAIN megfigyelései	24
γ ₁) A kohézió körzete a p_r változását jelző hiperbola csúcspontja alatt van	25
26. Rendkívül alacsony rugalmassági határral bíró szívós és képlékeny anyag	25
d) A felszíni rajzok és a csúszás szöge	25
27. A felszíni rajzok képződésének oka	25
28. A felszíni rajzok élénkítése, HARTMANN kísérleti eredményei	26
29. Kristályos anyagok elmozdulása, irányvonalainak szöge	27
e) Az összetartozó húzó- és nyomófeszültségek	29
30. A feszültségek összetartozóságának jellege	29
B) A tér két irányában ható, egyenletesen elosztott erők	30
31. A palástra ható feszültségek viszonya az azonos alakváltozást okozó, homlok-lapra ható feszültségekhez	30
C) A tér három irányában ható, egyenletesen elosztott erők	31
32. A feszültségek minőségére vonatkozó általános megjegyzés	31
33. Háromirányú húzófeszültség. A gátló anyagok hatása	31
34. A háromirányú, egyforma nagyságú nyomófeszültségek hatása	32
35. A háromirányú, egyenlőtlen nagyságú nyomófeszültségek hatása	32
36. Az összetett igénybevételek felbontása húzásra és nyomásra	33
H. A maradó alakváltozások kísérleti megállapítása s azoknak a feszültségekkel való összefüggése.	
A) A tér egy irányában működő, egyenletesen elosztott erők	33
a) Folytonosan növekedő, lassan ható erők	33
α) A feszültségek meghatározása	33
37. A maradó alakváltozások meghatározásának módja	33
38. A kísérleteknél követendő szempontok	34
α ₁) A húzás	39
39. A fejrészek befolyása	39
40. A próbatest méreteinek legalkalmasabb viszonya	40
41. A rugalmas alakváltozás kiküszöbölésének módja	40
42. Az egyenletes fajlagos megnyúlás	43
43. A feszültség a fajlagos megnyúlás függvénye	43
44. A feszültségi ábra és a feszültség növekedésének hatása	45

	Oldal
45. A feszültség analitikai képlete	46
46. Négyzög-keresztmetszetű próbatestek	47
β_1) A nyomás	48
47. A feszültség számításához alkalmazandó próbatestek méreteinek viszonya	48
48. A feszültség függvénye és a nyomóerő ábrája	49
49. A feszültség ábrája	51
50. A feszültség analitikai képlete	51
51. Vékony darabok nyomásánál szükségelt erőtöbblet	52
52. A kenőszerek s alátétlemezek befolyása a nyomóerőre	56
53. Négyzög-keresztmetszetű próbatestek	57
β) A szívósság mérőszámának meghatározása	57
54. A feszültségi ábra területének meghatározása	57
55. A húzó- és a nyomóerő munkája	59
56. Az arányos testek törvénye	61
γ) A képlékenység mérőszámának meghatározása	61
57. A nyújthatóság határát az elemi csoportok mérete szabja meg	61
58. A képlékenység mérőszáma	62
59. A képlékenység mérőszámának szélső határai	63
60. A képlékenység mérőszámának valódi értéke	64
61. A kontrakció viszonya a képlékenységhez	67
δ) A jellemző adatok meghatározása a diagramm felvétele nélkül	68
62. Az egyenletes nyúlásnak, feszültségnek s a képlékenységnek meghatározása	68
ϵ) Az összetartozó feszültségek viszonzyszámának meghatározása	68
α_1) A viszonzyszám meghatározása grafikai eljárással	68
63. A viszonzyszám értéke	68
64. Az egyenletes nyúlás határánál érvényesülő alkalmazhatóság határa	69
β_1) A viszonzyszám meghatározása analitikailag a belső surlódás alapján	70
65. DUGUET eljárása	70
66. A belső és külső surlódás közötti összefüggés és a DUGUET eljárásának fizikai alapja	73
67. A DUGUET és REJTŐ eljárása közötti kapcsolat	74
68. A DUGUET-REJTŐ-MOHR-féle eljárások közötti kapcsolat	74
γ_1) Közelítő eljárások az összetartozó feszültségek meghatározására	76
69. A MESNAGER és a LUDWIK-féle eljárás	76
ζ) A leggyakrabban használt fémek jellemző adatai	78
70. A leggyakrabban használt fémek jellemző tulajdonságainak számértékei	78
b) Megszakítással működő, lassan ható erők	80
71. Pihentetés nélkül ható növekedő erők	80
72. Pihentetéssel ható növekedő erők	83
73. Állandó nagyságú, ismételtlen ható erők	84
c) Az alakváltozások minőségének meghatározása mikroszkóppal	89
74. A szemcse méreteinek változása húzásnál és nyomásnál	89
75. A SAUVEUR-féle eljárás	92

	Oldal
B) A tér több irányában működő lassan ható erők	97
76. A több irányú erőhatások kifejtésének módjai	97
a) A módosított nyomás	97
77. A módosított nyomás jellemző fajtái	97
α) A szűrés és a szűrő megfogás	99
78. A felszínrajzokból levont következtetések	99
79. Az alakváltozás, vékony gátló réteg esetén	102
80. Az alakváltozás, vastag gátló réteg esetén	103
81. Gömbded alakú test szűrő megfogása	104
82. A szerszám metsző szögének befolyása	105
83. Az elmozdulásokkal járó jelenségek rideg, képlékeny és szívós anyagok esetén	107
84. A Brinell-féle keménység	108
β) A harapás	111
85. A két fűsínnek egymásra való hatása	111
86. Az elmozdulásokkal járó jelenségek rideg, képlékeny és szívós anyag esetén	112
87. Változó metszőszögű szerszámok jellegzetes alakja	115
γ) A nyírás és a lyukasztás	116
88. A kísérleti jelenségek ismertetése	116
89. Az elmozdulások és alakváltozások iránya	117
90. A szívós, képlékeny s rideg anyagok alakváltozása	118
91. A nyíróerő nagysága izotrópszerű szívós anyagnál 90 metszőszögű szerszámok használata esetén	119
92. A nyíróerő képlete nem izotrópszerű anyagokra vonatkozólag	122
93. A nyíróerő nagysága rideg anyagoknál	122
94. A nyírott tárgy berepedésének feltétele	124
95. A lyukasztásnál előálló jelenségek s a szükséges maximális erő	126
96. A lyukasztásnál észlelhető alakváltozások	129
δ) A hajlítás	129
α ₁) A rövid karon való hajlítás	129
97. Rövid karon való hajlítás esetén érvényesülő felszínrajzok	129
98. A hajlítóerő nagysága	131
β ₁) A hosszú karon való hajlítás	132
99. A hosszú karon való hajlítás esetén a szívós alakváltozás folyama alatt érvényesülő felszínrajzok és alakváltozási jelenségek	132
100. A külső erő nyomatékának kiszámítása	135
101. A belső erők nyomatékának általános képlete	137
102. A belső erők nyomatéka négyszögkeresztmetszetű testek esetén	138
103. A belső erők nyomatéka körkeresztmetszetű testek esetén	142
104. A belső erők nyomatéka összetettebb keresztmetszetek esetén	144
105. A hajlítóerő képlete	145
106. A képlékeny alakváltozáskor érvényesülő alakváltozási jelenségek	148
107. Hajlításnál elérhető legkisebb görbületi sugár	148
γ ₁) A hajlított test berepedésének feltétele	149
108. Az egyszerű hajlítás berepedésének feltétele	149
109. Az ismételt hajlítás berepedésének feltétele	150
110. A szívósság határán belül végzett, ismételt hajtogatások száma	153
ε ₁) Bemetszett rudak hajlítása	154

	Oldal
111. Bemetszett rudak hajlítása lassan ható erővel	154
π_1) Bemetszett rudak hajlítása ütőhatással	155
112. A bemetszett rudak ütőhatású hajlításához használt gépek és próbatestek	155
113. A szabványosan bemetszett rudak szélső szálainak megnyúlása lassú hajlításnál	158
114. Az ütőhatások által befolyásolt megnyúlás és hajlító munka képlete	160
τ_1) Forgásban levő tengelyek váltakozó irányú hajlítása	163
115. Forgásban levő sima tengelyek berepedésének feltétele	163
116. Forgásban levő változó keresztmetszettel bíró tengelyek	166
σ_1) A csavarás	166
α_1) Az alakváltozási jelenségek	166
117. A csavarás lényege	166
118. A csavarás primér-hatása és a hatás komponensei	168
119. A tengelyirányú komponens zsugorító hatása	169
120. A sugárirányú komponens összenyomó hatása	170
121. Négyszögkeresztmetszetű tárgy szemcséinek alakváltozása	171
122. A csavart test törésének alakja	172
β_1) A nyomaték számítása	174
123. Kör- és négyszögkeresztmetszetű testek csavaró nyomatéka	174
γ_1) A berepedés feltétele	177
124. A berepedést okozó elcsavarás meghatározása	177
δ_1) Váltakozó irányú elcsavarások	179
125. LUDWIK kísérletei váltakozó irányú elcsavarásokkal	179
ζ_1) A vágás és a forgácsolás	179
α_1) A forgácsolás fajtái	179
126. A vágás és a forgácsolás közötti viszony	179
127. A 90° metszőszögű szerszám hatása	179
128. A hegyes metszőszögű szerszám hatása	181
β_1) A vágás	182
129. A vágás erőszükséglete és az okozott alakváltozások	182
130. A metszés	185
γ_1) Forgácsolás 90° -ú metszőszögű szerszámmal	185
131. A 90° -ú szerszám erőszükséglete	185
132. A forgácsolt felület rideg anyagnál	187
133. A forgácsolt felület szívós anyagnál	188
134. A forgácsolt felület szívós-képlékeny anyagnál	189
δ_1) A forgácsolás hegyes metszőszögű szerszámmal	190
135. A hegyes metszőszögű szerszám erőszükséglete	190
136. A ferde él metszőszöge	192
ε_1) A kaparás	193
137. A kaparás erőszükséglete	193
ζ_1) A karcolás	198
138. A karcoló szerszám erőszükséglete	198
b) A tér több irányában ható aktív erők	201
α_1) Kétirányú erők	201
α_1) Belső nyomással terhelt csövek	201
139. A cső belső falára ható nyomóerők	201
β_1) Belső és külső nyomással terhelt csövek	207
140. A belső és külső nyomás egyensúlyi feltétele	207

	Oidal
β) Háromirányú erők	208
α_1) Tömör testre ható háromirányú erők	208
141. Egyenlőtlen nagyságú háromirányú erők	208
β_1) Üreges testre ható háromirányú nyomóerők	210
142. Üreges testek minden oldalról való nyomása	210
143. A belső nyomás hatása zárt csőre	213
C) Nagysebességű erők	213
a) A tér egy irányában ható, folytonosan növekedő nagysebességű erők	213
144. Gyorsan végzett szakítókísérleteknek a feszültségekre való hatása	213
145. Gyorsan végzett nyomókísérleteknek a feszültségekre való hatása	216
b) A tér több irányában ható nagysebességű erők	216
146. Az alakváltozás körzetének kisebbedése lökő hatások folytán	216
D) A tér három irányában ható nyomóerőknek hegesztő hatása	218
a) Hegesztés kapcsolócsoporthoz útján	218
147. A hegesztés feltételei	218
α) Oldalnyomással végzett hegesztés	219
148. Szűrő hatással létesített oldalnyomás	219
β) Palástnyomással végzett hegesztés	220
149. Palástnyomással létesített oldalnyomás	220
γ) Ütközéssel végzett hegesztés	222
150. A SCHOPP-féle eljárás	222
b) Hegesztés kristályos csoportok útján	222
α) Termikus kezeléssel javított hegesztés	222
151. Kovácstűzben hegesztett tárgyak kilágyítása	222
β) Termikus kezeléssel végzett hegesztés	223
152. A termikus kezelés kristályosító hatásának felhasználása	223
153. Zárt üregek összehegesztésének feltételei	223
SZILÁRD ANYAGOK ALAKVÁLTOZÁSÁNÁL MEGOLDANDÓ FELADATOK.	
154. A megmunkálás módja	227
155. Szállítható egyedek megmunkálásánál előforduló műveletek	228
156. Helyhez kötött egyedek megmunkálásánál előforduló műveletek	229
157. Szálas termények feldolgozásánál előforduló műveletek	229
158. Törmelékek feldolgozásánál előforduló műveletek	230

ALKALMAZOTT RÉSZ.

A FÉMEK ALAKÍTÁSA KÜLSŐ ERŐK HATÁSÁVAL.

I. Alakítás a tömegek egységes voltának fenntartása mellett.

159. Általános megjegyzések	235
A) Vasötvözetek	235
160. Izzó vasfajták ellenállása	235
161. Kovácstűzhelyek	237
a) Az anyag nyújthatóságán alapuló alakítás	239
162. Az alakítások fajtái	239
α) Kovácsolás	240
163. A kovácsolás eszközei	240
α_1) A kézi kalapácsok	240

	Oldal
164. A kézi kalapács és az üllő	240
β_1) A transzmissziós kalapácsok	241
165. A nyeles kalapács	241
166. A léces-frikciós kalapács	241
167. A hevederes-frikciós kalapács	243
168. A közönséges rúgós kalapács	243
169. Az »Ajax« rúgós kalapács	244
170. Az amerikai rúgós kalapács	244
171. A SCHMIDT-féle légpárnás kalapács	244
172. Az ARNS-féle légpárnás kalapács	246
173. A YEAKLY-féle légpárnás kalapács	246
174. A kovácsoló gép	248
γ_1) A motorikus kalapácsok, vagy gőzpörölők	248
175. A gőzpörölők osztályozása	248
176. A Nasmyth-féle gőzkalapács	249
177. A DAELLEN-féle gőzkalapács	251
178. A gőzpörölők ütésszáma és munkakifejtése	252
β) A sajtók	255
179. A sajtók csoportosítása	255
180. A kézi csavarsajtó	256
181. A frikciós csavarsajtó	256
182. A hidraulikus sajtó	257
183. A sajtolás fokozatának néhány példája	258
184. A pneumatikus vagy szegecselő sajtó	261
γ) Hengerlés	261
185. A hengerjáratok és hengerek fajtái	261
α_1) Kéthengerű hengerjáratok és hengerek	263
186. A behúzás feltétele	263
187. Az egyenletes alakváltozás és az egyenletes erőeloszlás feltétele	266
188. A szélesbedés mértéke	268
189. Az univerzális (egyetemes) hengerjárat	269
190. A négyszögű üregek szerkesztése	269
191. A tömörítő üregek szerkesztése	270
192. A profilos üregek szerkesztése	271
193. A hengerek energia-szükséglete	272
194. A tárgy lehűlés hengerlésközben	281
β_1) Négyhengerű járatok	282
195. A GREY-féle hengerjárat	282
γ_1) Excentrikus hengerjáratok	284
196. Változó vastagságú rudak hengerlése	284
δ_1) Ferde tengelyű hengerek	284
197. A MANNESMAN-féle hengerlés	284
198. Változó falvastagságú csövek hengerlése	286
ε_1) A hengerelt árúk elnevezése és gyártásának módja	286
199. A hengerelt árúk elnevezése	286
200. A rúdárúk gyártása	287
201. A lemezárúk gyártása	288
202. Vasúti kerékabroncsok gyártása	289
203. Hegesztett csövek gyártása	289
ε) A mángorlás	290
204. A mángorlás eszközei és alkalmazásának módja	290

	Oldal
e) Áthúzás, gyűrűs üregen.....	292
α ₁) Drótok és rudak áthúzása gyűrűs üregen.....	292
205. A gyűrűs üreg szerkesztése és a tárgy alakításához szükséges munka	292
206. A drót minimális átmérője, valamint hosszúságának maximuma	296
207. Szívós anyagok ellenállása gyűrűs üregen való áthúzáskor	297
208. A dróthúzó motolla	299
209. A húzópad	300
β ₂) Csövek és edények gyűrűs üregen való áthúzása	300
210. A cső falának méretváltozása	300
211. Edények húzása és alakos rudak üregen való sajtolása	302
212. A csőhúzás módja.....	303
b) A hajlítás.....	303
213. Lemezmélyítés és az ehhez szükséges külső erő	303
214. A nyomószterga	307
215. A peremezőgép	308
216. Kazánlemezek hajlítása	308
217. Párkánylécek húzása	309
c) A csavarás	309
218. A csavarás ipari alkalmazhatósága	309
B) Egyéb fémek	309
a) Vörösréz	309
219. Hengerelt árúk készítése vörösrézből	309
b) Sárgarézt	310
220. Hengerelt és préselt árúk készítése sárgarézből.....	310
c) Cink	310
221. Hengerelt árúk készítése cinkből	310
d) Ólom	311
222. Hengerelt és sajtolat árúk készítése ólomból	311
e) Ón	311
223. Ónlemezek gyártása	311
f) Arany és ezüst.....	311
224. Az arany- és ezüstiemezek gyártása	311
II. Alakítás a test tömegének több részre való osztásával.	
A) Szabályos alakítás	312
a) Darabolás.....	312
225. A darabolás fajtái	312
α) Nyírás	312
226. A párhuzamosan vezetett ferde élű ollók erőszükséglete	312
227. A párhuzamosan vezetett ferde élű olló szerkezete	317
228. Az aratógép ollója.....	319
229. A kézi olló	319
230. A tárcsaolló.....	320
231. A posztó- és a fűnyíró olló	321
β) Lyukasztás	321
232. A lyukasztógép szerkezete	321
γ) Vágás	322
233. A vágás erőszükséglete és a vágó szerszám szerkezete.....	322
δ) Harapás	325
234. A harapás erőszükséglete és a harapó szerszám szerkezete	325
235. A tárcsás harapó szerkezete s erőszükséglete	326

	Oldal
a) Metszés	326
236. A vasmetszéshez szükséges erő és energia	326
ζ) Fűrészelés	332
237. A fűrészek szerkezete és munkaképessége	332
b) Forgácsolás	333
α) A forgácsoló gépek elnevezése	333
238. A forgácsoló gépek osztályozása	333
β) A megmunkált felületek egyenlőtlenségének foka	335
239. A megmunkált felületek egyenlőtlensége	335
240. Az egyenes élű és a V alakú nagyolószerszám hatása	336
γ) A nagyolószerszám erőszükséglete, alakja és sebessége	338
241. A nagyoló szerszám erőszükséglete és a forgácsolásnál képződő meleg	338
242. A nagyolásnál képződő melegmennyiség	340
243. A nagyoláshoz használt szerszámok anyaga	341
244. A gyorsforgácsoló acél kovácsolása és edzése	342
245. A kedvező metsző- és elhelyezési szögek értéke	343
246. A főmozgás normálsebessége és a gazdaságos sebesség értéke	344
δ) A szerszámgépek elemei	348
α ₁) Haladó mozgást létesítő elemek	348
247. A visszamenés sebességének növelése	348
248. A WITHWORTH-féle elrendezés	349
249. A CAVÉ-féle elrendezés	350
250. A csavarral való mozgatás	350
251. A forgattyús elrendezés	351
252. A himbás elrendezés	351
β ₁) Forgó főmozgást létesítő elemek	353
253. A lépcsős szíjdobok elrendezése	353
254. A szíjdobokat helyettesítő fogaskerek elrendezése	356
255. A forgás értelmének megváltoztatása	358
γ ₁) A mellékmozgásokat létesítő géprészek	358
256. A szupportszerkezetek	358
δ ₁) A szerszám és a tárgy befogása	359
257. A szerszám befogásának változatai	359
258. A tárgy befogásának változatai	360
ε) A forgácsoló gépek leírása	361
α ₁) A gyalúk	361
259. A közönséges hosszgyalú	361
260. A veremgyalú	362
261. A lemezgyalú	363
262. A harántgyalú	363
263. A függőleges gyalú	364
β ₁) Az esztergák	364
264. Az esztergák fajtái	364
α ₂) A hosszesztergák	365
265. A közönséges hosszeszterga elrendezése	365
266. A fejszeg és a nyeregszeg szerkezete	365
267. A szupport változtatható sebességűt létesíthető szerkezetek	367
268. A szupport gyorsabb mozgatását végző szerkezet	369

	Oldal
269. A megkívánt sebességet biztosító áttevések meghatározása	369
270. Alakos tárgyak gyártásához szükséges szupporszerkezetek	370
271. Órás eszterga	372
272. A gyűrűs eszterga	373
273. A vasúti eszterga	374
β_2) A fejesztergák	375
274. A vízszintes tengelyű fejeszterga	375
275. A függélyes tengelyű fejeszterga	376
γ_1) A fúrók	376
α_2) A hengerfúrók	376
276. Hengerfúró, amelynél a főtengelybe ágyazott csavar végzi a mellékmozgást	376
277. Hengerfúró, amelynél a főtengely csavarként van kiképezve	377
β_2) A lyukfúró	377
α_3) A lyukfúroszerszámok	377
278. Az ágyúfúró	377
279. A csapos fúró	377
280. A hegyes fúró	379
281. A központos fúró	381
282. A spirálfúró	381
283. A fúró erő- és munkaszükséglete	382
β_3) A lyukfúróeszközök és gépek	385
284. A fúróeszközök	385
285. A közönséges szabadon álló fúrógép	386
286. A gyorsfúrógép	386
287. A darufúrógép	388
ε_1) A marók	389
α_2) A marószerszámok	389
288. A kézi szerszámok	389
289. A gépi szerszámok	391
290. A maró osztása és átmérője	391
291. A maróval megmunkált felület símasága	392
292. A maró metszőszöge	393
293. A maró forgásiránya	396
294. A homlokmaró	396
295. A maró erő- és munkaszükséglete	397
β_2) A marógépek	398
296. Munkaléceket egyéngető maró	398
297. Az egytetemes maró, mint síkmaró	398
298. Az egytetemes maró, mint fogmaró	398
299. A régibb fogaskerékmaró	401
300. Fogaskerékmaró készítésének módja	402
301. Csavaralakú fogaskerékmaró	403
ε_1) A reszelők	404
302. A reszelők készítésének módja	404
ζ_1) A koptatás	407
303. A koptatás fajtái	407
α_2) A koptatás és a csiszolás	407
304. A köszörülés főbb szabályai	407
305. A köszörülés munkaszükséglete	409
306. A köszörűk szellőztetése s öblítése	411
307. A koptatáshoz használt anyagok	412

	Oldal
308. Csiszológép síkfelületek koptatásához	414
309. Illesztendő felületek koptatása	414
310. Csiszológép tengelyek koptatásához	415
311. Csiszológép hengerek koptatásához	416
312. Csiszológép alakos tárgyak koptatásához	416
313. Testsokaságok csiszolásához alkalmas dob	417
3 ₂) A f é n y e s í t é s	417
314. A fényesítés lényege	417
315. Fényesítő eszközök és gépek	417
3 ₁) A c s a v a r k é s z í t é s	418
316. A csavarorsó készítéséhez szükséges szerszám	418
317. A csavarhüvely készítéséhez szükséges kézi szerszám	419
318. A csavarkészítő gép	420
B) Szabálytalan darabolás	421
319. A szabálytalan darabolás módjai	421
III. Alakítás több test tömegének összekapcsolásával.	
A) Kohéziós kapcsolat	421
320. A hegesztés és bevonás	421
321. A Schoop- és a Shering-féle eljárás	422
B) Adhéziós kapcsolat	422
322. A lémezelés	422
C) Foglaltos kapcsolat	423
323. A foglaltos kapcsolat csoportjai	423
324. Adhéziós kapcsolattal párosult foglaltos kapcsolat	423
325. Tiszta foglaltos kapcsoláson alapuló eljárások	423

FÜGGELÉK.

A maradó alakváltozások mechanikájának fontosabb eredményképletei	425
---	-----

BEVEZETÉS.

Munkánk első kötetében a melegségnek és az egymással szomszédos tömegek vonzásának hatását tárgyaltuk. A második kötetben a belső erők legyőzéséhez szükséges külső erők nagyságának meghatározásával fogunk foglalkozni.

Fejtegetéseink alapjául az anyagok belső szerkezete és belső erői szolgálnak. Ezeket az I. kötetben részletesen tárgyaltuk, a főbb tételeket azonban, az eszmekör folytonossága kedvéért, röviden itt is összefoglaljuk.

A belső erők. Az I. kötetben abból a feltevésből indultunk ki, hogy a molekulák kétféle mozgást végeznek, nevezetesen: forgót és haladót és hogy e mozgásukkal együttjáró ütközésük feszültséget (p_r) kelt, amely a belső erők egyike. Azonkívül feltételeztük, hogy az anyagi részecskék vonzzák egymást, miért is a másik belső erő a tömegvonzás (p_m). Az elsőnek képlete (az I. k. 1—6. p. szerint):

$$p_r = \frac{R T_1}{(v_1 - b_1) C_1} \quad (1.)$$

az utóbbié:

$$p_m = \frac{a}{v_1^2} \quad (2.)$$

Az 1. képletben szereplő

$$C_1 = 1 + \frac{E_\omega}{E_r} \quad (3.)$$

$$T_1 = \eta (E_r + E_\omega) \quad (4.)$$

T_1 jelenti az abszolút hőmérsékletet, R a gázok állandóját, v_1 a megfigyelés pillanatában az anyag fajlagos térfogatát, b_1 az anyagnak T_1 hőfokon elérhető legkisebb fajlagos térfogatát, a az anyag állandóját, E_ω a forgó mozgásból, E_r a rezgő mozgásból eredő kinetikai energiát.

A p_r és a p_m -re vonatkozó képletek a belső erőknek fajlagos értékeit adják, vagyis a megfigyelés pillanatában érvényes keresztmetszet ereiségére vonatkozó értékeket; ezért az ezekkel egyensúlyban levő külső erőket szintén a mindenkori keresztmetszet ereiségére kell vonatkoztatnunk.

A belső erők változásának törvényét grafikailag legcélszerűbben úgy jelölhetjük, ha a temperaturát (T_1) állandónak vesszük. Ebben az esetben a belső erők változását olyan hiperbolák jelzik, aminőket a 9. oldalon közölt 1. ábra mutat. Ebből látjuk, hogy a p_m még $v_1 = b$ esetén is véges értékű, holott a p_r ekkor már végtelen nagy értéket nyer.

Az I. kötetben kifejtettük, hogy mindaddig, amíg $p_r > p_m$, a molekulák önmagukra hagyva egymás szomszédságában nem maradhatnak: egyensúlyuk fenntartásához külső, még pedig összenyomó erőre van szükségünk; de ha $p_m > p_r$, akkor a molekulák önmaguktól jutnak egyensúlyba azért, hogy sűrűségük a túlsúlyban levő p_m tömegvonzás következtében nő.

A kohézió. Tegyük fel, hogy a belső erők változása T_1 hőfokon az 1. ábra szerint történik s hogy az 1. és 2. képletnek megfelelő értékek ez ábra 3. rajzában a következők:

$$v_1 = oz, p_r = ze \text{ és } p_m = zn.$$

Mint hogy $zn > ze$, a molekulák sűrűbben rendezkednek el s ennek folytán a p_r az eu vonaldarab szerint, a p_m pedig az nu szerint módosul. Amint a fajtérfogat annyira megváltozik, hogy $v_1 = ot$, a $p'_r = p'_m = tu$ értékűvé lesz, a belső erők egyensúlyba jutnak. Ebben az állapotban a belső erők olyan külső erőknek is képesek ellentállani, amelyek az anyagban ritkítást okoznak, vagyis húzóerőknek. Az anyagnak ezt a tulajdonságát, hogy húzóerőnek is ellenállhat, *kohézió*nak nevezzük. (L. I. k. 7. p.)

A kohézió képletét az 1. és a 2. egyenlet alapján így írhatjuk:

$$\pi = p_m - p_r, \text{ avagy } \pi = \frac{a}{v_1^2} - \frac{RT_1}{(v_1 - b_1)C_1}. \quad (5.)$$

Az 1. ábra szerint pedig a kohézió akkora húzóerőt képes egyensúlyozni, amely az anyagnak fajtérfogatát ot -ről oz -ra növelheti.

A molekulák alakja. Kohéziós anyagok molekulái lehetnek szabályos forgási testek, vagy olyanok, hogy palástfelületük kiágazásokkal, vagy behorpadásokkal van borítva. Az első csoportbelieket *amorfoknak*, az utóbbiakat *kristályosoknak* nevezzük.

A molekulák csoportosulása. Bármilyen alakúak is a molekulák, a kohézió ezek között teljes értékben csak akkor érvényesülhet, ha forgásuk következtében nem ütköznek, a rezgés következtében előálló ütközésük pedig centrikus és egyenes. (L. I. k. 10. p.) Feltéve, hogy két molekula ennek a feltételnek eleget tesz, e két molekula rezgő mozgását centrikus ütközés folytán a térnek csak egy irányában végzi, miért is ehhez a molekulapárhoz oly párok szegődhetnek, amelyek a térnek más-más irányában rezegnek. A molekulák e csoportosulása legegyszerűbben úgy képzelhető el, hogy a tér három irányában rezgő párok egyesülnek, még pedig akként, hogy egyidejűleg indulnak ki közös súlypontjukból és egy-

idejűleg térnek ahhoz vissza. A molekulák e mozgását *harmonikus mozgásnak*, társulásukat pedig *elemi csoportnak* nevezzük. Az *elemi csoportok mechanikailag fel nem bonthatók s így mechanikai szempontból ezeket mondhatjuk a kohéziós anyagok legkisebb részecskéinek*.

Az amorf anyag szerkezete. A csoportosulás előbb közölt feltételeinek az *amorf* alakú molekulák akkor tesznek eleget, ha a csoportosuló párok *forgástengelyei párhuzamosak*, mert alakjuk folytán ilyenkor az érintkező pontok kerületi sebessége nagyságra és értelemre nézve is megegyező. Ezek az elemi csoportok a fajtérfogat kisebbedése esetén más csoportokkal ép úgy társulhatnak, mint a molekulák. Az elemi csoportok e társulását *magnak* nevezzük. Az elemi csoportok súlypontjai is végeznek mozgást a térben. (L. I. k. 12. p.) A mag súlypontja már kevésbé változtatja helyzetét, még pedig annál kevésbé, minél nagyobbra nőtt meg. A kellőleg megnövekedett magvak a nehézségi erő hatása következtében az edény fenekére esnek és ott úgy helyezkednek el, hogy tengelyeik párhuzamos helyzetbe jutnak. Az ilyen szerkezetű anyagot *amorfnak* mondjuk s ezt az jellemzi, hogy egész tömegében teljesen izotróp. Az ilyen amorf szerkezetű anyagok halmazállapota a *kohézió* nagysága szerint lehet folyékony, szörpszerű, pépszerű vagy szilárd. A következőkben a szilárd halmazállapotúakkal fogunk foglalkozni.

A kristályos anyag szerkezete. A kristályos molekulák a csoportosulás feltételeinek csak akkor tesznek eleget, ha a társulandó molekulák forgástengelyei párhuzamosak és az érintkező pontok kerületi sebessége nagyságra és értelemre nézve azonos. Ha két érintkező molekula e feltételnek egy pillanatban eleget tesz, érintkező pontjaik kerületi sebessége továbbra is csak úgy marad azonos, ha az idő egységében végzett forgás- és rezgésszámuk egész számú viszonyban áll. (L. I. k. 17. és 18. p.) Amennyiben a csoportot alkotó molekulák e feltételeknek nem tesznek eleget, forgásuk következtében ütköznek, ütközésük növeli a kinetikai energiából eredő feszültséget (p_r), ennél fogva *kohéziójuk az elérhető maximumnál csekélyebb*.

Az olyan molekulapár, amely mind e három feltételnek eleget tesz, a tér egy irányában rezeg, miért is ezzel oly molekulapárok társulhatnak, amelyek a tér más-más irányában rezegnek. Az ekképen társult molekulák alkotják a *kristályelemet*, vagyis a *kristályos elemi csoportot*. A sűrítés kellő növelése esetén a kristályelemek *maggá* társulnak. Minden maghoz a fenti feltételeknek eleget tevő elemi csoportok csatlakoznak s ezzel a magvak *szemcsékké* fejlődnek. A szemcsék nagysága különböző, mert a magvak növekedése a szomszédos elemi csoportok helyzetétől függ. Ha két különböző nagyságú szemcse kerül egymás szomszédságába, akkor a köztük lévő elemi csoportra a nagyobb szemcse nagyobb tömegénél fogva nagyobb vonzást gyakorol, miért is ez a nagyobb szemcséhez illeszkedik s ezzel a nagyobb szemcse tovább nő. (L. I. k. 22. p.)

A szemcsék ily módon csak addig nőhetnek, amíg egymás közötti távolságuk egy-két elemi csoport méreténél nem nagyobb. Ekkor ugyanis azok az elemi csoportok, amelyek a rést kitölteni hivatvák, egyik szemcséhez sem illeszkednek teljesen. Ha egyikhez illeszkednének, a másik szemcsével oly erősen ütköznének, hogy az ebből eredő feszültség az elemi csoportokat helyzetük elhagyására készítetné. Ezért úgy illeszkednek, hogy a feszültség, amely mind a két szemcse csoportjaival végbemenő ütközésből ered, a kohéziónál kisebb legyen. Ha ennek a feltételnek egy csoport sem volna képes megfelelni, akkor két- vagy több csoportból álló láncolat illeszkedik a szemcsék közé.

A kristályos anyag kohéziói. Minthogy a kohézió akkor a legnagyobb, amikor a forgási ütközés a legkisebb, ezért a szemcsék belsejében a kohézió erősebb, mint a kapcsoló csoportok között s ez utóbbi érték a tengelyek változó helyzete folytán igen különböző: egynémely érintkező pontban közel állhat a szemcse belsejében lévő kohézióhoz, másban pedig közel állhat a zérus értékhez. Ép ezért minden szemcsés szerkezetű anyagban kétféle kohéziót kell megkülönböztetni, nevezetesen: a szemcsék belsejében lévő (molekulárist) és a szemcse közöttit. Az első MESNAGER nyomán π -vel, az utóbbit a következetesség kedvéért π_1 -gyel jelöljük. Ez utóbbi mindig kisebb az előbbinél, azaz $\pi > \pi_1$.

Minél kisebbek a szemcsék, annál nagyobb az egységnyi súlyú anyagban a szemcsék felületeinek összege, ennél fogva nagyobb a kapcsolódó csoportok száma is és valószínűbb, hogy minden keresztmetszetbe több olyan kapcsoló csoport is kerül, amelynek fekvése a legkedvezőbb. Ebből már most az következik, hogy mindazok az eljárások, amelyek a szemcsék finomodását okozzák, a szemcse közötti kohéziót is növelik és viszont. (L. I. K. 22., 182. és 206. p.)

Az alapelvek e rövid ismételése után a külső erők hatására térünk át.

Elsősorban a belső erők törvénye alapján megállapítjuk az alakváltozások fizikai okát, majd ismertetni fogjuk a várható jelenségeket és kísérletekkel igazoljuk következtetéseink helyességét, végül pedig az alakváltozásokhoz szükséges külső erőnek és az ez által végzett munkának kiszámítására térünk át, amit grafikai vagy analitikai úton végzünk.

A KÜLSŐ ERŐ HATÁSA AZ ANYAGOK BELSŐ
SZERKEZETÉRE.

ÁLTALÁNOS RÉSZ.

A MARADÓ ALAKVÁLTOZÁSOK MECHANIKÁJA.

1. Tapasztalati tény, hogy az erőhatások lényegesen aszerint módosulnak, hogy az erők egyenletesen oszlanak-e el vagy nem, hogy a térnek egy, két vagy három irányában hatnak-e a testre, hogy hatásukat lassan, vagy lökésszerűen fejtik-e ki, végül aszerint, hogy egyszer támadják-e meg a testet, vagy ismételtén. Az erőhatások tárgyalásánál ezeket a szempontokat külön-külön vesszük figyelembe.

I. AZ ALAKVÁLTOZÁSOK FIZIKAI OKAI.

A) A tér egy irányában működő, folytonosan növekedő, lassan ható erők, vagyis a húzás és a nyomás.

2. Ha a keresztmetszetre ható egyenletesen elosztott külső erő iránya a test középső keresztmetszete felé tart, hatása nyomó, ha pedig ettől eltávolodik, hatása húzó. Minthogy a húzó- és a nyomóhatás csak az erő értelmében különbözik egymástól, a következőkben mindkét hatást lehetőleg együttesen fogjuk tárgyalni.

a) Az erő hatása alatt végbemenő rugalmas sűrűségváltozások.

3. Feladatunk egyszerűsítése kedvéért elsősorban az anyag legkisebb mechanikai egyedét, az elemi csoportot, ezután a magot, végül az amorf szerkezetű anyagot vizsgáljuk. Az elemi csoporton várható jelenségek a következők:

Tegyük fel, hogy a külső erő az elemi csoport egyik tengelye irányában, pl. az $x-x$ irányban (2. ábra I. rajza) működik. A húzóerő ekkor az irányába eső 1 és 2-vel jelölt molekulák között ritkítást okoz, minek következtében ez a molekulapár csekélyebb energiával ütközik az $y-y$ irányban levő 3, 4 és a $z-z$ irányban levő 5, 6 jelű molekulákkal. A csekélyebb ütközés következtében ezek, t. i. az $y-z$ síkban levő molekulák, most

már kisebb kilengést végeznek; ennél fogva ebben a síkban sűrűbb az elrendezésük. Ha pedig az $x \rightarrow x$ irányban az 1, 2-vel jelzett molekulapárra nyomóerő hat, ezek között a p_r feszültség növekedik s mert most nagyobbra nőtt feszültségükkel ütköznek az y, z síkban levő 3, 4 és 5, 6 jelű molekulákkal, ez utóbbiak nagyobb sebességet nyerve nagyobb kilengést végeznek. Az anyag tehát ebben a síkban (yz) ritkul (méretnövelést szenved). Ez a ritkulás lehetővé teszi, hogy az $x \rightarrow x$ irányban fekvő molekulák a külső erő hatását kövessék és sűrűbben rendezkedjenek el. E hatások eredménye:

A húzóerő a saját irányában ritkítást, a reá merőleges síkban ellenben sűrítést okoz; a nyomóerő a saját irányában sűrítést idéz elő, a reá merőleges irányban pedig ritkítást. Az erő irányában kifejtett hatást a következőkben közvetlennek, primérnek, a reá merőleges irányban kifejtett pedig közvetettnek, szekundérnek fogjuk nevezni.

Az elemi csoport szerkezete alapján e primér és szekundér hatások nagyságára is lehet következtetnünk. Minthogy primér hatását az erő mindig csak két molekulára fejt ki, szekundér hatását pedig 6 molekulából álló csoportok esetén négy molekulára, nyilvánvaló, hogy az erő irányára merőleges síkban a molekulák gyorsítása csak félakkora lehet, mint az erő irányában. *A primér hatás sűrűségváltoztatása ennél fogva mindig nagyobb, mint a szekundéré s mert a viszony e kettő között (m_n) az elemi csoport szerkezetétől függ, viszonyuk az anyagra jellemző.*

Annak igazolására, hogy a külső erők kétféle sűrűségváltozást okozhatnak, a húzás vagy a nyomás alatt álló üvegrudak poláros sajátságait hozzuk fel. Ismeretes tény ugyanis, hogy a fénysugarak haladásának sebessége a közeg sűrűségétől függ. A meg nem terhelt üveg minden irányban egyenletes sűrűségű lévén, azon át a fénysugarak minden irányban azonos sebességgel haladnak, a megterhelt üvegprizmán átbocsátott fény azonban polárossá válik, jeléül annak, hogy a fény az erő irányában más sebességgel halad, mint a reá merőleges irányban. Ez tehát a kétféle sűrűségváltozásnak kétségtelen bizonyítéka.

Minthogy az anyag rugalmas alakváltozásakor csak sűrűsödés és ritkítás állhat be s mert ennek mértéke a külső erő nagyságától függ, ezért az azonos fokú polárossággal bíró helyek az azonos feszültségek szintjeit jelzik. Ezek segítségével HÖNIGSBERG,^{*)} valamint MESNAGER^{**)} szemléltethetővé tették a hajlított rudak és a görbített tengely neutrális rétegét és az excentrikus terhelések alatt álló rudak feszültségeinek eloszlását.

^{*)} L. Mitteilungen des int. Verb. für die Materialprüfungen der Technik 1906. zu Brüssel.

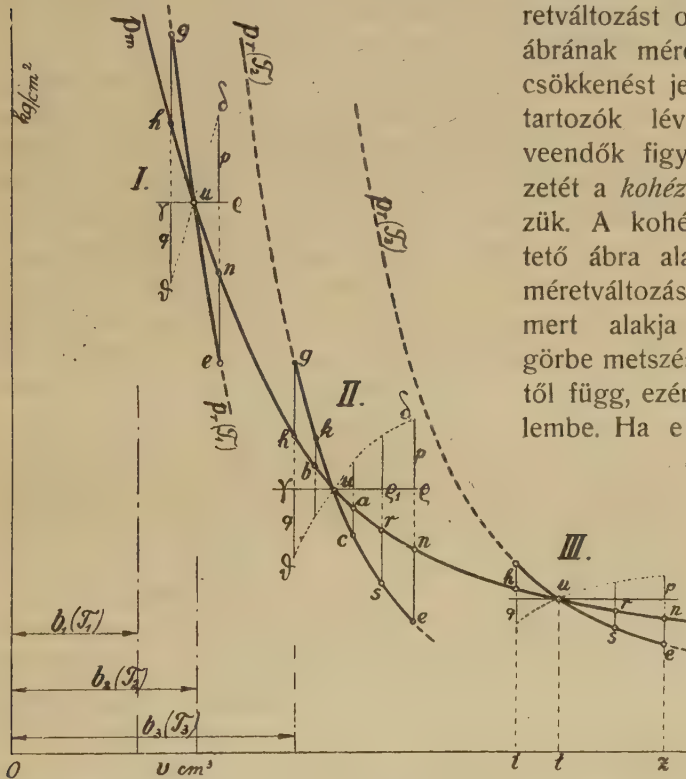
^{**)} L. az ugyanezen Egyesületnek 1900-ban Budapesten tartott kongresszusáról kiadott közleményeket.

4. Az egyenletesen elosztott külső erők okozta kétféle méretváltozás nagyságára az állapotábrából következtethetünk, ha az abszcisszáik tényleges számértéke helyett ezek köbgyökét vesszük figyelembe: $s(=)\sqrt[3]{v}$.

Ily megszorítás esetén az állapotábrának (1. ábra) az u metszésponttól balra eső része a méretcsökkenésnek, a jobbra eső része pedig a méretnövelésnek a feszültségekhez való viszonyát jelzi. Minthogy az egy irányban ható külső erők kétféle méretváltozást okoznak, az állapotábrának méretnövelést s méretcsökkenést jelző részei — összetartozók lévén — egyidejűleg veendőek figyelembe s ezek körzetét a *kohézió körzetének* nevezzük. A kohézió körzetét feltüntető ábra alakja szabja meg a méretváltozások viszonyát, de mert alakja a két belsőerő görbe metszéspontjának helyzetétől függ, ezért azt vesszük figyelembe. Ha e metszéspont jóval

magasabbra esik, mint a p_r változását jelző hiperbola csúcspontja, a kohézió körzetét alkotó hiperbolarészletek egyenesekkel helyettesíthetők. (L. az 1. ábra I. részét). Ebből világos, hogy a méretváltozások

a feszültségekkel arányosak, tehát azonos húzó- és nyomófeszültségnek azonos nagyságú méretváltozás felel meg. Ha a kohézió körzete a csúcspont közelében, de még e fölött van, amint az 1. ábra II-vel jelzett része mutatja, akkor azonos nagyságú húzó- s nyomófeszültségnek már nem felel meg azonos nagyságú méretváltozás, hanem a húzófeszültség jóval nagyobb méretváltozást okoz, mint a nyomó. Még nagyobb a méretváltozások különbsége akkor, ha a metszéspont a csúcspont alatt fekszik, amint ezt az 1. ábra III-mal jelzett része mutatja.



1. ábra.

A kohézió-körzetek határhelyezetei amorf anyagoknál.

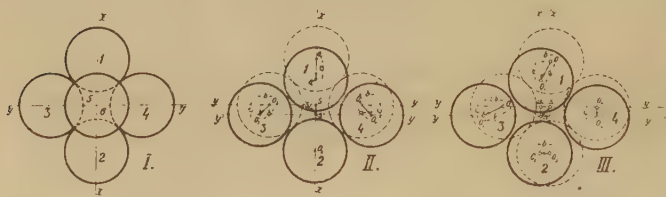
a feszültségekkel arányosak, tehát azonos húzó- és nyomófeszültségnek azonos nagyságú méretváltozás felel meg. Ha a kohézió körzete a csúcspont közelében, de még e fölött van, amint az 1. ábra II-vel jelzett része mutatja, akkor azonos nagyságú húzó- s nyomófeszültségnek már nem felel meg azonos nagyságú méretváltozás, hanem a húzófeszültség jóval nagyobb méretváltozást okoz, mint a nyomó. Még nagyobb a méretváltozások különbsége akkor, ha a metszéspont a csúcspont alatt fekszik, amint ezt az 1. ábra III-mal jelzett része mutatja.

b) Az elmozdulások tovaterjedése.

5. Az elemi csoportra gyakorolt hatást ismerve, vegyük a magot figyelembe, de ezt is oly helyzetben, hogy a forgási tengelyek iránya a külső erő irányába essék. A mag ekkor ugyancsak a 2. ábrával ábrázolható, ha feltesszük, hogy a számokkal jelölt körök nem molekulákat, hanem csoportokat jelölnek. A külső erő ugyanolyan hatást fejt ki a csoportokra, mint előbb a molekulákra, vagyis kétféle sűrűségváltozást okoz, E kétféle sűrűségváltozáshoz képest elsősorban a sűrűség csökkenésének. azután a növelésnek kell előállania. A végeredmény tehát itt is az, hogy húzás esetén az erő irányában méretnövelés-, a reá merőleges síkban méretcsökkenés áll be, nyomás esetén pedig az erő irányában méretcsökkenés, a reá merőleges irányban pedig méretnövelés támad.

Ha minden csoport szabadon vehetne részt a mozgásban, a mag súlypontja változatlan maradna, de ha a magnak reakcióhatás alatt álló csoportja nem változtathatná meg helyzetét, akkor a mag súlypontjának helyzete kénytelen megváltozni, még

pedig egyrészt az 1-gyel jelölt csoportnak az erő irányában történt elmozdulása-, másrészt az erő irányára merőleges síkban mozgó csoportoknak (a 3, 4, 5



2. ábra.

A mag elmozdulásának módjai.

és 6-tal jelölteknek) sűrűségváltozása arányában. Ámde ez utóbbi a szimmetria-tengelyekhez képest egyforma, ezért az eredő mozgást nem befolyásolja. Ha azonban szemlélhetővé akarnók tenni az $x-y$ síkban végbemenő mozgást, fel kell tennünk, hogy a csoportok jobb irányú kilengése végtelen kis idővel megelőzi a bal irányút. Ily viszonyok között a súlypont elmozdulása az $x-y$ síkban két ferde irányú elemi mozgás eredőjének tekinthető, amint ezt a 2. ábra II. rajza mutatja.

Abban az esetben pedig, ha az xy síkban két csoportnak az elmozdulása korlátolt, nevezetesen ha a 2. számú az erő irányában, a 4. számú pedig az erő irányára normális síkban nem mozdulhatna el, a súlypont csak egyirányban haladó ferde síkban, ez esetben a bal irányban mozdulhat el. A mozgás iránya megegyezik az előbb említett kétirányú mozgásnak balra eső részével, nagysága azonban ennek kétszerese. (L. a 2. ábra III. rajzát).

Amennyiben a normális síkban való elmozdulásban nem a 4. számú, hanem a 3-as volna korlátozva, a súlypont jobbra dülő ferde síkban halad majd tovább.

Ezek után a testre gyakorolt hatás vizsgálatára térünk át.

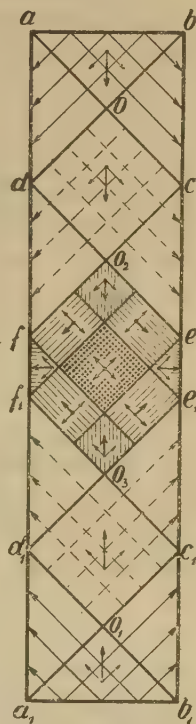
6. A külső erőnek a testre gyakorolt hatását oly síkban fogjuk vizsgálni, amely az erő irányában halad és a test palástjára normális. Ezt a síkot a következőkben *fősíknak*, vagy *alkotósíknak* fogjuk nevezni.

Feladatunk egyszerűsítése kedvéért a következőkben, hacsak külön megszorítással nem élünk, oly hasáb-, vagy hengeralakú testet tartunk szem előtt, amelynek hosszanti tengelye az erő irányát követi, az erő támadó-lapjai pedig erre merőlegesek. Egy ilyen testnek alkotó síkját szemlélteti a 3. ábra, amelyben az ab és a_1b_1 vonalak a támadó lapoknak, aa_1 és bb_1 vonalak pedig a palástnak metszetét jelzik. A támadó lapoknak oly távolságban kell egymástól lenniök, hogy közöttük a magvak sokadalma helyezkedjék el. Mindezek a magvak az akció és reakció hatása alatt állanak s így valamennyiben megváltozik az erő irányában a feszültség, még pedig egyidejűleg, de az elmozdulásban az összes magvak egyszerre nem vehetnek részt, mert állandó sebesség esetén útjuk megtételéhez saját számukkal arányos időre van szükségük. Minthogy az elmozdulás a testben fokozatosan terjed tovább, a következőkben e továbbterjedés módját fogjuk tanulmányozni.

A súlypontok elmozdulását az előbbi pontban, ha a csoportok mozgása normális síkban korlátozva nincsen. két ferde irányú elemi mozgásból összetéve képeltük (5. p.), ezekre vonatkozólag a szemléltetés egyszerűsítése kedvéért feltesszük, hogy végtelen kis időközökben követik egymást; de ha a csoportok a normális síkban csak egy irányban mozdulhatnak el, a mag súlypontja is csak egy ferde síkban térhet ki. Ezt tudva, a fősíkból az elmozdulások irányát a következő megfontolással vezethetjük le.

Minthogy a külső erő közvetlenül a nyomólapokkal érintkező magvakra hat, elsősorban ezek kénytelenek elmozdulni. Ámde a nyomólapon lévő magvak csak úgy mozdulhatnak el, ha a mozgásuk irányába eső összes magvak velük egyidejűleg elmozdulnak, ezért nyomás esetén először is az abc és $a_1b_1c_1$ -gyel jelölt darabban levő összes magvak fognak jobbra s lefelé elmozdulni, nyomban ezután balra s lefelé az abd és $a_1b_1d_1$ darabban levők. Húzás esetén ugyanezek a részek s ugyanolyan sorrendben mozdulnak el, csak hogy mozgásuk ellenkező értelmű.

Ez elmozdulások következtében azok a magvak, amelyek az ao és a_1o_1 részben vannak, két irányban haladtak s így súlypontjuk végeredményben a külső erő irányában mozdult el. Ámde az aod s a boc , valamint



3. ábra.

Az elmozdulások irányvonalainak hálózata.

az $a_1 o_1 d_1$ és a $b_1 o_1 c_1$ részekben levő magvak csak egy irányban mozdultak el, mert a másik irányban való elmozdulásban az aob rész által gátoltattak. A nyomólapból kiinduló mozgásban résztvevő $adocb$ és az $a_1 d_1 o_1 c_1 b_1$ magjai most már a külső erővel egyensúlyba jutottak és mert feszültségük nagyobb a közbeeső $docc_1 o_1 d_1$ rész magjainál, a külső erő hatását az utóbbiakkal ép úgy közelíthetik, mint azt a terhelés első időszakában a nyomólapok tették.

Az erőhatások közlése szempontjából tehát a nyomólapokat (a szerzőszámot) most a doc és a $d_1 o_1 c_1$ -ba áthelyezve képzeljük. Ennek következtében az od rész magjainak jobbra és balra kellene elmozdulniuk. A balirányú mozgást akadálytalanul végezhetik, de a jobbirányú csak akkor következhetik be, ha a mozgásuk irányában fekvő összes magvak — tehát az $odec$ részben fekvők — mind jobbra mozdulnak el. Ugyancsak kétirányú mozgást kénytelenek az oc -ben fekvő magvak is végezni. A jobb irányát akadálytalanul végezhetik, de a bal irányát csak akkor, ha az $ocfg$ -ben lévők mind balra mozdulnak el. Ez elmozdulások eredménye, hogy az $odo_2 c$ és az $o_1 d_1 o_3 c_1$ rész magvai az erő irányában haladnak tovább, míg a $do_2 f$ és a $d_1 o_3 f_1$ rész magjai csak balra, a $co_2 e$ és a $c_1 o_3 e_1$ részekéi pedig csak jobbra mozdulnak el. Az elmozdulás új határát most már a d pontból ac -vel párhuzamosan vont de és a c pontból bd -vel párhuzamosan vont cf vonalak jelzik, a reakciós oldalon pedig a $d_1 e_1$ és $c_1 f_1$ vonalak.

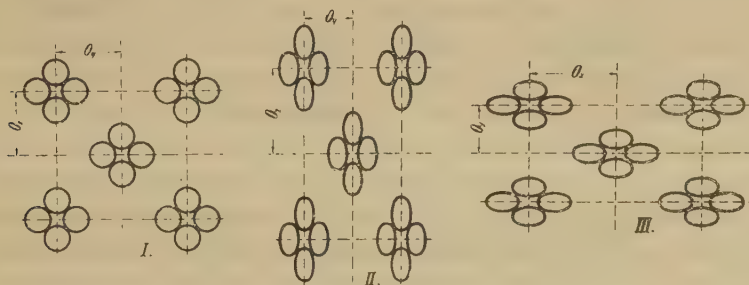
Ha a tárgy hosszabb, az elmozdulások szemléltetésére a most követett eljárást folytathatjuk. Eljárásunk lényege a következő: Az első elmozdulás határát kapjuk, ha a *támadó lapok szélső pontjaiból a palást felületéig meghúzzuk az elmozdulás irányát jelző ferde vonalat*, a második elmozdulás határát pedig úgy, hogy *az előbbinek végpontjából ismét meghúzzuk az elmozdulás irányvonalát a palástig. Az utolsó irányvonalak végpontjaiból folytatjuk a további irányvonalak meghúzását. De ha e vonalak meghúzása közben az akció s a reakció oldaláról kiinduló irányvonalak előbb metszenék egymást, mintsem a palástot érnék* — amint a 3. ábrán feltüntettük — *az akciós vonalak csak a reakció folytán már elmozdult magvak határáig, viszont a reakciós vonalak csak az akció folytán már elmozdultak határáig húzandók meg.* A test hosszának középső részében fekvő magvak tehát nemcsak az akció, hanem a reakció következtében is kénytelenek elmozdulni; miért is mozgásuk iránya az eddigiektől lényegesen eltérő, amint ezt a 3. ábrába berajzolt nyílak szemléltethetővé teszik.

Az elmozdulások most ismertetett lefolyása azonban csak akkor érvényesülhet, ha a külső erő mindaddig, amíg a mozgásban valamennyi mag részt nem vett, változatlan marad. A testet alkotó összes csoportok elmozdulása után azonban a külső erő ismét nőhet s többlete ép úgy kifejti elmozdító hatását, mint ahogy azt a kezdeti erőre vonatkozóan az előbb elmondottuk.

Minthogy az elmozdulás tovahaladását jellemző ábrának legfontosabb vonalai azok, amelyek ennek határát jelzik, vagyis azok, amelyek a külső erő szélső fogópontjából indulnak ki, azért ezeket az *elmozdulások irányvonalainak* nevezzük. (A 3. ábrában ezeket vastagabban húztuk ki.) Az olyan ábrának a neve, amely csak ez utóbbi vonalakat tartalmazza: az *elmozdulások irányvonalainak hálózata*. Az elmozdulás irányát jelző vonal hajlásszögét az eddigiekben önkényesen választottuk, de mert ez a magvak súlypontjainak viszonylagos helyzetétől függ, azért a következőkben az irány megállapításával is foglalkozunk s ezzel egyidejűleg az elmozdulások fajait is meghatározzuk.

c) Az elmozdulások fajai.

7. Az elmozdulások természetét befolyásolja a külső erőnek a molekula forgástengelyéhez mért iránya, a molekula alakja és a külső erő okozta sűrűségváltozás.



4. ábra.

A súlypontok távolsága, vagyis az osztások nagysága amorf és kristályos anyagok esetén.

A külső erő iránya ugyanis összeeshetik a forgás- vagy az egyik rezgéstengely irányával, de lehetséges az is, hogy egyetlen tengelyiránnyal sem esik össze. Az első esetben az erő primér hatását az irányába eső molekula-párra teljes értékével fejti ki, az utóbbi esetben pedig csak normális komponensével, ellenben tangenciális komponensével a molekula tengelyének elforgatását végzi.

Az amorf anyagú molekulák ezen elforgatás alatt — ha gömbalakúak — forgás következtében nem ütköznek s így ez a jelenség a külső erő hatását nem befolyásolja, miért is az amorf anyagok további tárgyalásánál a ferde irányú erőhatásokkal nem is foglalkozunk.

Kristályos anyag esetén az elforgatás következtében a csoportok viszonylagos helyzete megváltozik, ezzel tehát az összes jelenségek is megváltoznak. Ép azért a kristályos anyagok tárgyalásánál a ferde irányú erőkkel mint általános esettel fogunk foglalkozni.

Amorf anyagok esetén, mert belső szerkezetük minden tengelyirányhoz képest azonos (l. a 4. ábra I. vázlatát), figyelmen kívül hagyhatjuk

azt, hogy a külső erő iránya melyik tengelylyel egyezik meg. Az elemi csoportok súlypontjain átmenő egyenesek távolsága ugyanis ez esetben a fősík mindkét irányában egyenlő, azaz $O_x = O_y$, ezért az elmozdulások is azonosak, bármely tengely irányában hat a külső erő. Kristályos anyagoknál azonban az elemi csoportoknak az erő irányába eső mérete lényegesen megváltozik aszerint, amint az erők a forgási tengely vagy az erre normális rezgési tengely irányát követik; a forgási tengely irányába eső méret ugyanis nagyobb: $O_x > O_y$, amint ez a 4. ábra II. képéből kitűnik. Ennélfogva az erő irányába eső szükséges méretnövelés nagysága attól függ, hogy a külső erő melyik tengely irányát követi; ezért a kristályos anyagok tárgyalásánál figyelembe vesszük a tengely milyenségét is. (L. a 4. ábra II. és III. rajzát).

α) Amorf anyagok.

Amorf anyagok tárgyalásakor az előbbi pont értelmében feltesszük, hogy a külső erő a tengely-iránnyal összeesik. (L. a 4. ábra 1. képét.)

8. Bármelyik tengely irányában hasson is az erő, primér és szekundér hatása következtében a csoportok súlypontjai a méretnövelés és csökkenés irányában mozdulnak el. De mert az elmozdulásban a test összes elemi csoportjai nem egyidejűleg vesznek részt, az elmozdult csoportok súlypontjai a még el nem mozdultakhoz képest kisebb-nagyobb távolságba juthatnak. Mindaddig, amíg a csoportok súlypontjainak viszonylagos elmozdulása a molekula *sugaránál* kisebb, ugyanazok a molekulák érintkeznek, mint terhelés előtt, miért is a terhelés megszűntekor azokat a kohézió azonnal eredeti helyzetükbe visszatereli. Eddig a határig tehát a test alakváltozása *rugalmas*.

Tegyük fel: a súlypontok viszonylagos elmozdulása a molekula sugaránál nagyobb, de kisebb az ez irányba eső *osztásnál* (O_x -nél, vagy O_y -nél). Ilyenkor azok a csoportok, amelyek eddig egy maghoz tartoztak, már nem végeznek harmonikus rezgést, hanem ferde irányban ütköznek szomszédaikkal, amely ütközés növeli a belső p_r -feszültséget, ezért hőfok-emelkedés áll be. Ezek a csoportok az erő megszűntével ferde ütközésük következtében nem foglalhatják el azonnal eredeti helyzetüket, de új helyzetükben sem maradhatnak, ezért helyzetüket *ideig tartónak*, *labilisnak* mondjuk. Az erő megszűnte után végbemenő mozgás, ha a viszonylagos elmozdulás kisebb volt a molekula *átmérőjénél*, igen rövid időt igényel; de ha az elmozdulás ennél nagyobb, hosszabb időt, sőt sokszor éveket kíván s ekkor ezt a mozgást *rugalmas utóhatásnak* nevezzük.

Ezek után tegyük még fel, hogy az elmozdult csoportok súlypontjai az el nem mozdultakhoz képest a méretnövelés irányában egy osztással egyező távolságra jutottak tovább: ilyenkor a csoportok a méretcsökkenés irányában is egy osztással akadálytalanul elmozdulhatnak. Ez elmozdulások következtében nyomásnál valamennyi elmozdult csoport egy-egy

alsóbb-, húzásnál pedig egy-egy felsőbb szintbe jut. Új helyzetükben a csoportok más magnak válnak alkotó részeivé, de új szomszédaikkal ismét harmonikusan rezegnek, az erő megszűntével tehát helyzetüket megtartják, ezért az elmozdulás e fajtát *maradandónak* (stabilisnak) mondjuk. Az *ideig tartó* s *maradandó* alakváltozást együttesen *maradónak* nevezzük. Azt, hogy a külső erő miféle alakváltozást okozhat, a kohézió körzetének helyzetéből határozhatjuk meg.

α_1) A kohézió körzete jóval magasabban fekszik a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjánál.

9. Ha a kohézió körzete a csúcsponthoz képest magasan fekszik, az állapotábrának a körzeten belül fekvő részét egyenes vonalából állónak tekinthetjük, amint ezt az 1. ábra I. képe szemlélteti, melyben úgy a *gue*, mint a *hum* vonalrész egyenessel helyettesíthető.

Ebből az ábrából következik, hogy az azonos nagyságú húzó- vagy nyomófeszültségek saját irányukban azonos nagyságú-, de ellenkező értelmű méretváltozásokat okoznak és hogy a feszültségek a méretváltozásokkal arányosak. A csoport szerkezetéből következik, hogy az erő irányába csak két molekula esik, a reá normalis síkba pedig hatos csoportok esetén kétszer, általánosságban tehát m_p -szer több, ezért a szekundér erőhatás is csak m_p -ed része a primérnek; az arányosságból pedig az következik, hogy a szekundér méretváltozás szintén csak m_p -ed része a primér méretváltozásnak, még pedig húzás és nyomás esetén egyaránt. Ha λ_p a húzó primér méretnövelést és ε_p a szekundér méretcsökkenést jelenti, továbbá ha ε_q a nyomó primér méretcsökkenést és λ_q a szekundér méretnövelést jelzi, akkor:

$$m_p = \frac{\lambda_p}{\varepsilon_p} = \frac{\varepsilon_q}{\lambda_q}.$$

Mindaddig, amíg a szekundér méretváltozások a tömegekkel arányosak, a magot alkotó csoportok elemeinek rezgési ideje és útja is azonos, vagyis mozgásuk harmonikus.

Az állapotábra egyenes vonalú része tehát arra vall, hogy e kétirányú méretváltozások ugyanolyan viszonyban vannak, mint a mozgandó tömegek s mert a kohézió is a tömeggel arányos, a külső erő megszűnte után a csoportok eredeti helyzetükbe visszatérnek. A méretváltozások tehát teljesen rugalmasak.

10. Állapítsuk meg már most azt, hogy a rugalmas alakváltozás milyen befolyást gyakorol a test térfogatára? Ha h a test hossza és $\frac{d^2 \pi}{4}$ a keresztmetszete, akkor a rugalmas alakváltozást szenvedett test köbtartalma húzás esetén: $h(1 + \lambda_p) \frac{d^2 \pi}{4} (1 - \varepsilon_p)^2$, nyomás esetén pedig:

$h(1 - \varepsilon_q) \frac{d^2 \pi}{4} (1 + \lambda_q)^2$. Ez a köbtartalom a terheletlen test köbtartalmával akkor egyenlő, ha húzásnál: $(1 + \lambda_p) \left(1 - \frac{\lambda_p}{m_p}\right)^2 = 1$ vagy nyomásnál: $(1 - \varepsilon_q) \left(1 + \frac{\varepsilon_q}{m_p}\right)^2 = 1$. Minthogy m_p a λ -tól és ε -tól független, a fenti feltétel csak akkor teljesül, ha $m_p = 2$, feltéve, hogy a másodrendű kis mennyiségek elhanyagolhatók.

Ha tehát valamely anyagra vonatkozólag $m_p > 2$, akkor húzás esetén a *köbtartalma nő*, nyomás esetén pedig *kisebbedik*.

Annak igazolására, hogy rugalmas alakváltozásnál $m_p > 2$ esetén köbtartalomváltozás áll elő s hogy a rugalmas alakváltozás mechanikai munka vesztesége nélkül vihető végbe, EDLUND*) kísérleteit hozzuk fel. Ezekhez ő acéldrótot használt, tehát oly anyagot, amelynek m_p tényezője nagyobb 2-nél, t. i. $m_p = 3,33$.

Hogy húzás közben az acéldrótban végbemenő temperatura-változást megfigyelhesse, arról is gondoskodott, hogy a próbatest a külső munka folyama alatt a környezetből meleget át ne vehessen, de annak át se adhasson. Ezt úgy érte el, hogy a drót húzását hirtelen megrántással (ütköző hatással) végezte. Pontos mérései szerint húzásnál a hőfok lejjebb szállt, ami arra vall, hogy a húzás következtében a test *fajtérfogata nőtt* (sűrűsége csökkent). A drótot ezután addig tartotta terhelt állapotban, amíg temperaturája a környezetét elérte, ezután hirtelen tehermentesítette. Mérései szerint ekkor a hőfok növekedett, ami arra vall, hogy *fajtérfogata* előbbi állapotához képest *kisebb lett* (sűrűsége nőtt). Számításai szerint az a kalóriamennyiség, amely tehermentesítés közben szabaddá vált, teljesen egyenlő volt azzal, amelyet a húzás kötött le, ez eredmény pedig kétségtelen bizonyítéka annak, hogy rugalmas alakváltozásnál a külső mechanikai munka csak a sűrűség *rugalmas változására* használtatott fel.

11. Szakító- és nyomókísérleteinknél azonban nem a sűrűségváltozásokat, hanem a könnyebben meghatározható-, az erő irányában beálló méretváltozást állapítjuk meg. Ha e méretváltozásnak fajlagos értékét a feszültség függvényében derékszögű tengelyrendszerben olyképp rajzoljuk fel, hogy a méretnövelést és a húzófeszültséget pozitív előjelűnek, a méretcsökkenést és a nyomó feszültséget pedig negatívnak tekintjük, a *feszültségi ábrát* kapjuk. Ez az ábra az itt tárgyalt anyagok esetén csak egyenes vonalú lehet (l. az 1. ábra I. képen az $\alpha\gamma\rho\delta\vartheta$ részletet), mert a feszültség a sűrűségváltozással arányos, ez utóbbi pedig arányos a méretváltozással.

*) L. Dr. RICH. RÜHLMANN: Handbuch der Mechanischen Wärmetheorie. Braunschweig, 1876. 222. l.

A méretváltozásoknak a feszültségekkel való lineáris viszonyát *arányossági törvénynek* nevezik.

12. Kétségtelen, hogy a feszültség nem nőhet a végtelenségig. Az 1. ábra szerint ugyanis a feszültség addig növelhető, amíg az általa okozott méretnövelést a kohézió ellensúlyozni képes, ennél fogva a méretnövelést okozó feszültség maximális értéke maga a *kohézió*.

Az olyan anyagot, amelyben a kohéziót rugalmas alakváltozások közben győzzük le, *ridegnek* mondjuk. A rideg test törését okozó fajlagos húzófeszültséget *szakadási határnak*, fajlagos nyomófeszültséget pedig *törési határnak* nevezzük.

Minthogy a szakadás vagy a törés a méretnövelés következtében áll be, annak iránya a méretnövelést létesítő feszültség irányára normális. Húzás esetén tehát a tárgy a méretnövelés irányára merőleges síkban szakad el, nyomás esetén pedig, minthogy a méretnövelés irányára merőleges sík összeesik a külső erő irányával, tehát a repedés a nyomóerő irányában történik, feltéve, hogy a tárgy magassága kisebb a 3. ábrán a d -vel jelölt hosszánál, mert különben az ellenállás az erő irányában nagyobb, mint az a c elmozdulás irányában s ekkor a tárgy az utóbbi mentén reped el.

β_1) A kohézió körzete a p , változását jelző hiperbola csúcspontjához közel áll.

13. Abban az esetben, ha a hiperbola csúcspontja közel esik a kohézió körzetéhez (1. ábra II. képe), az állapotábrának csak kis része helyettesíthető egyenessel. E kis részt magában foglaló ábrarészletre tehát érvényesek mindazok a következtetések, amelyeket az 1. ábra I. képre vonatkozólag vezettünk le. Ez alapon kimondhatjuk, hogy az anyag a $k b u a c$ darabon rugalmas és követi az *arányosság* törvényét. A $k b$ és $a c$ feszültségek most is az anyag határértékei, de ezek most nem a törés határát, hanem az elmozdulás természetének megváltozását jelzik s ép ezért másképp neveztetnek el, még pedig *arányossági határnak* (p_a és q_a).

Az ábra további része azonban már nem arányos. A $h g$ nyomófeszültségnek például γu sűrítés felel meg, holott az azonos nagyságú $e n$ húzófeszültségnek a γu -nál nagyobb $u p$ ritkítás. Ebből kifolyólag nyomás esetén a szekundér hatásnak megfelelő méretnövelésnek a méretcsökkenéshez való viszonya is nagyobb lesz, mint a megfelelő feszültségnek viszonya. A méretnövelés irányában mozgó elemek tehát nagyobb utat tesznek meg s e miatt pályájuk végpontjaiba elkésve érkeznek. Mozgásuk most már nem harmonikus, ütközésük nem centrikus, ennél fogva az alakváltozás a 8. pontban közölték szerint kezdetben ideig tartó, később maradandó lehet.

Hogy e kétféle maradó alakváltozás közül melyik érvényesülhet, azt a súlypontok elmozdulásának az osztáshoz való viszonya állapítja meg. A 8-ik pontban ugyanis arra az eredményre jutottunk, hogy maradandó alakváltozás akkor lehetséges, ha a súlypontok viszonylagosan egy osztással

(O_x vagy O_y) mozdulnak el. Jelöljük meg az 1. ábra II. képén az ennek megfelelő ritkítást u_{ρ_1} -gyel. Minthogy a maradandó alakváltozás eléréséhez szükséges ritkítás lehet nagyobb, egyenlő, vagy kisebb annál, amelyet a kohézió ellensúlyozni képes, azaz $u_{\rho_1} \equiv u_{\rho}$, ezért ezekkel az esetekkel külön-külön kell foglalkoznunk. Ha $u_{\rho_1} > u_{\rho}$, akkor a test csekély maradandó alakváltozás után eltörik. Ha $u_{\rho_1} = u_{\rho}$, vagy csak végtelen kis értékkel kisebb a kohézió által ellensúlyozható méretnövelésnél, a test csak igen lassan ható erőkkel — amilyen például a nehézségi erő — alakítható, de különben rideg. Végül, ha $u_{\rho_1} < u_{\rho}$, amint azt az ábrán is jelöltük, akkor a maradandó alakváltozás mindaddig végbemehet, amíg a külső erő akkora gyorsítást nem okoz, hogy ezzel a külső feszültség a kohézió értékét eléri. Alakváltozásnál ugyanis a külső erőnek nemcsak a belső feszültséget kell ellensúlyoznia, hanem a tömegek gyorsítását is. Ha a tömegek gyorsítása igen nagy, ennek a legyőzendő belső erővel képezett összege nagyobb lehet a kohézióval s ilyenkor a különben jól alakítható anyag is úgy törik, mintha rideg lenne. Ha a testen nagyobb mértékű maradandó alakváltozás történhetik, anyagát *képlékenynek* nevezzük. Ilyen alakváltozás esetén a feszültség értéke nem változik meg, mert a molekulák gömbszerű alakjánál fogva a csoportok mérete s így a tengelyek egymástól való távolsága is változatlan. Kimondhatjuk tehát, hogy *képlékeny alakváltozás állandó feszültséggel — t. i. a megváltozott keresztmetszetre vonatkoztatott állandó fajlagos erővel — haitható végre.*

14. Amorfi anyag képlékeny alakításánál, mert a csoportok súlypontjai a fősík mindkét irányában egyforma darabbal mozdulnak el, lévén $O_x = O_y$ -nal, az elmozdulás irányvonala 45° szöget alkot az erő irányával. Ezt tudva, megállapíthatjuk a próbatest várható alakulását.

Hosszabb rudak húzásánál az alakváltozások mindkét támadó lapból kiindulva, a lapok szélső pontjaiból 45° szög alatt meghúzott irányvonalak által bezárt darabon mennek végbe. Minthogy az elmozdulás után e darab keresztmetszete kisebb lesz, mint a többié, a reáső fajlagos erő növekszik s ép azért csoportjai gyorsítva csúsznak tovább. A δ vastagságú rúd tehát nem az egész hosszúságban, hanem csak egy $\delta \tan 45^\circ$ hosszúságú darabján fog maradandó alakváltozást szenvedni. Ezt a jelenséget *kontrakciónak* nevezzük.

Nyomás esetén az elmozdulás 45° szög alatt hajló irányban szintén a támadó lapokból indul ki. Ha a rúd hosszú, a támadó lapok mellett fekvő részek duzzadni fognak; de mert ezzel a megváltozott keresztmetszet egységére eső feszültség kisebbedik, az alakváltozás a szomszédos részekre kiterjed ugyan, a próbatest fejs talprésze azonban mindig nagyobb mértékben duzzad.

Rövid próbatestek esetén a szabad felület minden része az akció és a reakció együttes hatása alatt áll, miért is az elmozdulás az egész testen egyidejűleg megy végbe.

γ_1) A kohézió körzete alatta van a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjának.

15. Ha a kohézió körzete a hiperbola csúcspontja alatt fekszik, a belső erők ábrája az 1. ábra III. képéhez hasonló. Minthogy az u pont körül fekvő ug és ue darabok nem helyettesíthetők egyenessel, az anyagnak az arányosság törvényét követő rugalmassági határa nincsen. Az alakváltozás természete most is attól függ, hogy a csoport súlypontjának egy tengelyközzel való kilengésére szükséges feszültség nagyobb-, avagy kisebb-e a kohéziónál? Ha a kilengés kisebb, a test csak ideigtartó alakváltozást vehet fel, tehát az anyag rideg. Ha a kilengés nagyobb-, a test ép oly képlékeny, mint az előbbi pontban tárgyalt anyag, csakhogy rugalmas vonala az ideigtartó alakváltozás folytán nem egyenes, hanem húzásnál domború, nyomás esetén homorú.

β) Kristályos anyagok.

16. A kristályos anyagok tulajdonságai lényegesen eltérnek az amorfok tulajdonságaitól. E különbség okai a következők: kristályos anyagban a tengelyek csak egy-egy szemcse határán belül párhuzamosak. A tengelyek iránya igen változó ugyan, de az irányok eloszlása egyenletes lehet s ekkor izotrópszerűnek (*quasi-izotróp*nak) nevezzük az anyagot. Ha azonban egy bizonyos irány többségben van, akkor irányítottnak mondjuk. További eltérő tulajdonságuk, hogy forgó és rezgő mozgásuk periódusai kényszerviszonyban állanak egymással és hogy ez a viszony csak egész szám lehet.

Már most előfordulhat az az eset, hogy lehűlésnél a forgás periódusa nem csökkent a kívánt mértékben s azért a periódusok viszonzszáma sem egész szám. Ekkor nem azonos kerületi sebességgel bíró pontok ütköznek, tehát a feszültség (p_r) és a fajtérfogat is növekszik.

Ennélfogva a kristályos anyagokra jellemző az a jelenség, hogy diszharmonikus mozgásuk következtében a belső feszültségek nőnek s növekedésük arányában a kohéziót csökkentik. Ezzel a jelenséggel az ötvözetek tárgyalásánál már többször találkoztunk. Például az I. k. 220. pontjában láttuk, hogy a $40-42^\circ$ Sn -ot tartalmazó bronz lehűléskor közvetlenül a solidus alatti hőfokon szilárd, tovább lehűtve azonban ismét folyékonnyá válik s csak a temperatura erős csökkenése esetén szilárdul meg ismét. Ez esetben a forgásból eredő nagy mértékű ütközés a kohéziót annyira csökkentette, hogy a nehézségi erő a csoportokat elmozdíthatta. Találkoztunk e jelenséggel a vas-szénötvözeteknél is, t. i. a $0-0,5\%$ C tartalmú lágy vasnemeknél, amelyek allotróp állapotváltozását ugyanez a jelenség okozta.

Az idézett példákból kitűnik, hogy kristályos anyagok lehűlése közben a forgó és a rezgő mozgás periódusának viszonzszámában ép oly

késleltetés állhat be, mint a kristályosodásnál s így mindkét jelenség a túlhűtés következménye (I. k. 60--63. p.).

17. Most már csak az a kérdés, vajon külső erővel módosíthatjuk-e a molekulák forgásszámát? Kétségtelen dolog, hogy abban az esetben, ha a szomszédos csoportok ütközését fokozhatnók, forgásszámuk is megváltoznék. Ámde a külső erő fogópontjaival érintkező csoportnak a szomszédos csoportokkal való ütközését csak akkor fokozhatjuk, ha az erő nem tengelyirányú, hanem ferde.

Így tehát kimondhatjuk, hogy ferde, azaz a csoport tengelyével össze nem eső külső erővel a kinetikai erélyek között fennálló diszharmóniát csökkenthetjük s ezzel azok kohézióját növelhetjük. A kristályos anyagnak azt a tulajdonságát, hogy *külső erőhatásokkal kohézióját fokozhatjuk, szívósságnak* nevezzük. Minthogy a kohéziót csak úgy tudjuk növelni, ha a szemcsét alkotó csoportok tengelyirányát megváltoztatjuk, azért ezt a *szívós alakváltozással* együtt járó jelenségnek tekintjük s *irányításnak, orientálásnak* nevezzük. A szemcsék orientálása tehát nem lényege a szívósságnak, de mert enélkül szívós alakváltozás nem lehetséges, a diszharmónikus mozgás csökkentésének mértéke gyanánt az orientálás fokát vehetjük.

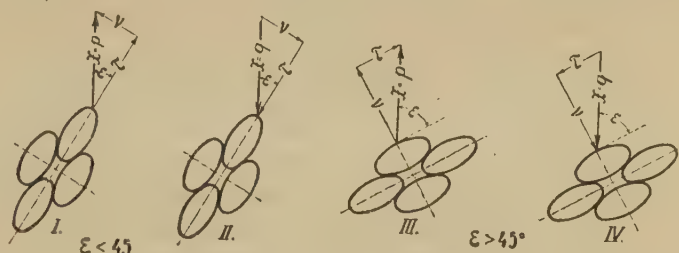
A szemcsék forgásszámának megváltoztatásával elérjük a feszültség csökkenését és az azonos kerületi sebességű pontok érintkezését. Megvan tehát annak a lehetősége is, hogy a csoportok sűrűbb elrendezést nyernek (osztásuk megváltozik), és a molekulák fajtérfogata (v) is megváltozhatik. Ezek azonban szintén csak velejáró tulajdonságok s a szívósság lényegét nem ezek alkotják.

A szívósság lényegéből következik, hogy a diszharmónikus mozgás megszüntetésével a kohézió csak addig növelhető, amíg az állapottényezők által meghatározott értékét elérte. Ennélfogva a szívósság az anyagnak korlátolt mértékű tulajdonsága, amelyet külső hatásokkal megváltoztathatunk, sőt meg is semmisíthetünk. Felhevítéssel azonban és lassú lehűléssel az anyagot szívóssággal ismét elláthatjuk. Ez utóbbi jelenséggel az I. kötetben már foglalkoztunk, az erre szolgáló eljárást *kilágýtásnak* neveztük s megvalósításának módját az I. kötet 182. pontjában részletesen kifejtettük.

18. A kristálytengelyek egy-egy szemcse határain belül párhuzamosak, de a szomszédos szemcsék tengelyeinek iránya igen változó, azért a szemcsékre ható külső erő normális (v) és tangenciális (τ) komponenseinek nagysága is igen eltérő. Jelöljük a külső erőt X -szel, ennek a molekulák forgástengelyével alkotott szögét ϵ -nal. Ez esetben az erő komponenseinek képlete ez lesz: $\tau = X \cdot \cos \epsilon$, $v = X \cdot \sin \epsilon$. Ezekből az következik, hogy ha $\epsilon < 45^\circ$, akkor $\tau > v$ s ha $\epsilon > 45^\circ$, akkor $v > \tau$. Minthogy pedig a rugalmas sűrűségváltozásnak az orientálást meg kell előznie, azért feltesszük, hogy a nagyobbik komponens okozza a húzó-

vagy nyomófeszültséget, a kisebbik pedig az orientálást. Hatásukat az 5. ábra érzékíti meg. Ámde minden keresztmetszetben a legkülönbözőbb irányban hajló szemcsék vannak. Ép azért megállapítandó, hogy a szemcsék mindegyike, avagy azok egy része megváltoztatja-e maradandóan a helyzetét? Továbbá azzal is tisztába kell jönnünk, vajjon azonos irányú húzó- vagy nyomófeszültség következtében ugyanazon szemcsék megváltoztatják-e alakjukat? Az amorf anyagok maradó alakváltozásának tárgyalásánál kifejtettük, hogy az alakváltozáshoz szükséges feszültségnek a méretnövelés irányában akkora kilengést kell okoznia, amekkora a súlypontok távolsága; minthogy pedig a kilengés nagysága a feszültséggel nő, az a csoport fog elmozdulni, amelyik *kisebb kilengést igényel*, már pedig az 5. ábra szerint húzás esetén a méretnövelés irányába eső osztás akkor kisebb, ha $\varepsilon > 45^\circ$ (l. az 5. ábra III. rajzát), nyomás esetén pedig akkor, ha $\varepsilon < 45^\circ$ (l. az 5. ábra II. rajzát). Miért is kimondhatjuk, hogy a szemcseirányok egyenletes elosztása esetén, vagyis az ú. n. *izotrópszerű anyagokban* más

szemcsék alakulnak húzásnál s mások nyomásnál; még pedig húzás esetén azok, amelyek hajlásszöge (ε) nagyobb 45° -nál, nyomásnál pedig azok, amelyek hajlásszöge kisebb 45° -nál.



5. ábra.

A csoport tengelyével össze nem eső külső erő komponensei.

Ezek a szemcsék azonban nem deformálódnak egyformán, hanem pl. húzásnál legerősebben azok, amelyekben $\varepsilon = 90^\circ$, nyomásnál pedig azok, amelyekben $\varepsilon = 0$ értékű.

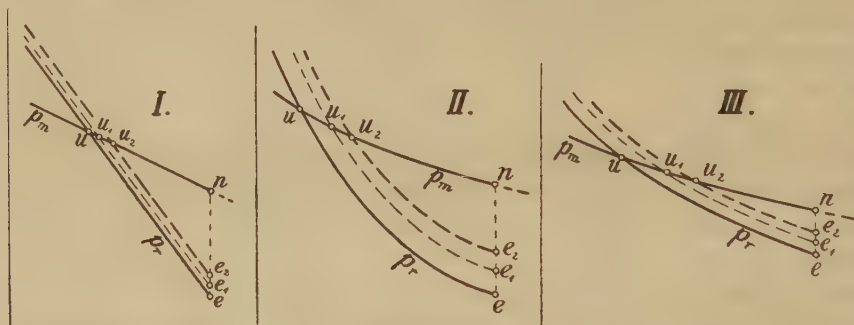
19. A kristályos anyag különleges tulajdonságait ismerve, foglalkoznunk kell még a kohézió körzetének az alakváltozások fajaira gyakorolt hatásával. E célból az állapotábrának a késleltetett harmónia folytán előállott változását kell ismernünk. Normális viszonyok között, vagyis ha a forgásban késleltetés nem volna, a belső erők képletei (l. az 1. s 2. képletet) által megadott fajtérfogat, a 6. ábra n pontjának abszcisszájával volna meghatározva. Ebben az esetben a p_r változását jelző hiperbola az e ponton haladna és az anyag, a belső erők hatása következtében, az u metszéspont abszcisszájával megadott fajtérfogatig sűrűsödne, kohéziója pedig ne értékű volna. Ámde feltevésünk szerint p_r értéke a késleltetés következtében nő, ennél fogva a változását jelző hiperbola nem az e , hanem az e_2 ponton halad; az anyag tehát a belső erők közetkeztében csak az u_2 metszéspont abszcisszájával megadott fajtérfogatig sűrűsödhetik és ezért kohéziója csak ne_2 értékű lehet. De mivel e diszharmonikus

mozgás okozta feszültsége a ferde irányú külső erők hatása következtében csökken, a p_r változását jelző hiperbola helyzetét módosítja és az $u_2 e_2$ helyzetből fokozatosan az $u_1 e_1$ -be s végre az $u e$ -be jut, a kohéziója pedig $n e_2$ -től kezdve $n e$ értékig nő.

A kristályos anyagok különleges sajátosságait ismerve, az előfordulható alakváltozásokat a kohézió körzetéből fogjuk megállapítani.

α_1) *A kohézió körzete jóval magasabban fekszik a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjánál.*

20. Ha a kohézió körzete a csúcspont fölött fekszik, az állapot-ábra a 6. ábra első képehez hasonló. Ez ábrából kitűnik, hogy az u_2 metszésponton áthaladó p_r változását jelző vonalrész már igen kis erőhatások folytán megváltoztatja helyzetét. Ebből a tényből pedig az következik, hogy az alakváltozások, szigorúan véve, nem is lehetnek arányosak



6. ábra.

A kohézió körzetek határhelyzetei kristályos anyagoknál.

a feszültségekkel, tehát nem követik az arányosság törvényét s ezért húzásnál a húzóerők ábrája a méretnövelést jelző abszcissa-tengelyről nézve domborúvá válik.

Minthogy a feszültségi ábra kis mértékben tér el az arányosságtól, a létrejött maradó alakváltozások a 8. pont értelmében csak ideigtartók lehetnek, vagyis olyanok, amelyek tehermentesítés után rövidebb-hosszabb idő multán elenyésznek. Ha ehhez igen rövid idő szükséges, és ez akkor van, ha az orientálódásban csupán a szemcse szélső csoportjai vettek részt, az anyag rugalmas jellegű, dacára, hogy az arányossági törvényt nem követi. Rugalmas jellege azonban csak mérőeszközeink pontatlanságából eredő látszat, mert kétségtelen, hogy az elemek egyrésze nem térhet azonnal vissza. Ha a vissza nem tért elemek száma csekély, az általuk okozott maradó alakváltozás is rendkívül kis mértékű; de ha azok számát valamelyes módon, például sokszoros ismétlésekkel szaporítjuk, vagyis ha a szemcsét alkotó összes csoportokat orientálódásra kényszerítjük, a végtelen kis maradó alakváltozások is összegeződnek s mérhetőkké válnak, s ezzel az

anyag arányossági határa is nő; ezért ezeket az anyagokat *szívósan rugalmasaknak* fogjuk nevezni.

Következtetéseink helyességét dr. BRESZTOVSZKY BÉLA mutatta ki. Ő ugyanis a beton terhelését sokszor megismételte, még pedig majdnem a törési határig s azt tapasztalta, hogy ekkor a szívós alakváltozás végre mérhetővé vált és a rugalmas vonal egészen a törés határáig teljesen követte az arányosság törvényét.

21. Most még a törés és a szakadás határát kell meghatároznunk. Amorf anyagokra vonatkozólag a 12. pontban azt láttuk, hogy a törés határát a molekulák kohéziója határozza meg; szemcsés szerkezetű anyagban azonban a molekuláris kohézió csak a szemcsét alkotó elemeket köti egymáshoz, míg a szemcséket a kapcsoló csoportok tartják össze. Ép ezért a törés határa húzás esetén nem is lehet nagyobb, mint a szemcse közötti kohézió (π_1).

β_1) *A kohézió körzete közel van a p_r változását jelző hiperbola csúcspontjához.*

22. Arra az esetre, ha a kohézió körzete a p_r hiperbola csúcspontja közelében van, az állapotábrának várható alakját a 6. ábra II. rajza mutatja. A kohéziókörzetnek ily helyzete esetén az amorf anyag alakváltozása egy darabig rugalmas, majd ideigtartó és ha a méretnövelés a tengelyosztással egyenlő, akkor már maradandó, azaz képlékeny. Most azonban a rugalmas és maradandó, tehát a képlékeny alakváltozás is a molekulák forgástengelyeinek orientálódása folytán egyaránt módosul.

A rugalmassággal már a 20. pontban részletesen foglalkoztunk; ott azt az alakváltozást *szívósan rugalmasnak* mondtuk, ha t. i. a méretnövelés a molekula sugaránál nem nagyobb. Ekkor megindul a labilis- és ha a méretnövelés a tengelyosztással egyenlő, a stabilis alakváltozás. De mert ugyanekkor a molekulák orientálódnak is, a kohézió közöttük növekedik s azért ez az alakváltozás csak fokozatosan növekedő külső erővel végezhető el. Ennélfogva a kristályos anyagot ekkor nem képlékenynek, hanem *szívósan képlékenynek* mondjuk. A *szívósan képlékeny* és a *szívósan rugalmas* alakváltozás gyűjtő neve: *szívós alakváltozás*.

23. A szívós alakváltozásra nézve igen jellemző még az ezzel járó következő jelenség. Minthogy orientálódás következtében a kohézió nő, ezért az erő hatását az orientált részek ép úgy képesek a még nem orientált részekre átjuttatni, mint ahogy ezt a rugalmas alakváltozásnál láttuk. Ennélfogva az elmozdulás fogópontokból kiindulva ép úgy halad a test középső keresztmetszete felé, mint a rugalmas alakváltozásnál, vagyis az elmozdulások *írányvonalainak hálózata* itt is érvényes.

Az egy-egy szemcsét alkotó részek a folytoni növekedő kohézió folytán továbbra is ennek a szemcsének alkotó részei maradnak, jóllehet a szemcse alakját megváltoztatja. Minthogy orientálás csak akkor mehet végbe, ha a test méretnövelést szenvedett, ezért a folytatólagosan növe-

kedő erőhatások alatt végbemenő méretnövelés nagysága egyúttal az *orientálásról*, vagyis a *szívóság* változásáról is tájékoztat.

Az orientálás befejeztével a feszültség növekedése is megszűnik s ekkor a maradó alakváltozás a képlékeny alakváltozás jellemző lefolyását nyeri, vagyis az elmozdulás irányvonala mentén kontrahál, ami *szemcseoszlítást okoz*. Az anyagot ebben az állapotában *képlékenynek* mondjuk.

A képlékeny alakváltozás kristályos anyagoknál is állandó feszültség mellett megy végbe, mert az elemi csoportnak ilyenkor a már változatlan méretű tengelyosztással kell kilengenie. Nagyfokú elágazásokkal bíró molekuláknál azonban előfordulhat az az eset is, hogy azok kiágazásuk körül elfordulnak s ekkor másképen rendeződnek el, azaz ikerkristályokat alkotnak. Ámde az elfordulás már kisebb kilengésnél megy végbe, tehát a képlékeny alakváltozás ebben az esetben kisebbedő feszültséggel folytatódik.

24. Az elmondottak alapján az orientálásnak három jellemző fokozatát különböztetjük meg. Az orientálódás megindításához bizonyos p_a feszültség kell, teljes befejezéséhez pedig ugyancsak határozott p_{max} nagyságú feszültség. Húzás esetén azonban még egy további, e két határérték közé eső érték is figyelembe veendő. A húzott rúdban ugyanis az erőátadás csak addig tarthat, amíg a külső erő nő; ez pedig csak addig nőhet, amíg a szemcse megnyúlása következtében előállott keresztmetszet csökkenés nem nagyobb a feszültség növekedésénél. Jelöljük az e határnál mutatkozó feszültséget p_e -vel. Minthogy p_e határáig az egész húzott rúd egyformán van igénybevéve, ez egyformán deformálódik is, azért ezt a határt az *egyenletes nyúlás* (λ_e) *határának* nevezzük.

Am az is lehetséges, hogy az arányossági határ kezdeti p_a értéke nagyobb a szemcse közötti kohéziónél: $p_a > \pi_1$. Ebben az esetben a szemcse közötti kohéziót a külső erő még a rugalmas alakváltozás folyama alatt győzi le, ilyenkor tehát az anyag *rideg*. De lehetséges, hogy $p_a < \pi_1$ s ekkor, mihelyt a külső erő a rugalmassági határt túllépi, a test máris megváltoztatja alakját, anyaga tehát *alakítható*. Alakváltozásakor az arányossági anyag határa fokozatosan p_e -ig nőhet s mert ez az érték ismét lehet: $p_e \geq \pi_1$, további két esettel kell foglalkoznunk. Az első esetben az alakváltozás az egyenletes nyúlás határát sem érheti el, az anyag tehát *szívós és azután rideg*; a második esetben az alakváltozás az egyenletes nyúlás elérése után is folytatódik, az anyag tehát *szívós és képlékeny*.

25. Annak az igazolására, hogy a kristályos szerkezetű anyagok maradandó alakításakor kétféle jelenség merül fel, EWING és ROSENHAIN*) észleleteire hivatkozunk.

*) L. »Nature« 60. k. (1542. sz.) 67. o.

Nevezett kutatók mikroszkóppal figyelték meg a szemcsék alakváltozásait húzás és nyomás esetén. Megfigyelésük szerint a rugalmassági határt túllépő erőhatások alatt a szemcsén fokozatosan erősödő sötét vonalak látszanak, amelyek az első pillanatban repedésekhez hasonlítanak, de a fénysugár irányának változtatásával fényesekké válnak. Ebből az következik, hogy e vonalak magasságkülönbséget jeleznek, ez pedig kétségtelen jele annak, hogy deformálás után azok a csoportok, amelyek a deformálás előtt egy síkban voltak, különböző magasságba jutottak, vagyis, hogy a deformálás *elmozdulással* jár.

EWING és ROSENHAIN az elmozdulások irányát és mértékét is megfigyelték s arra az eredményre jutottak, hogy azonos méretnövelés esetén a szemcsék alakváltozása húzás és nyomás alkalmával teljesen azonos.*) A szemcse alakjára vonatkozólag pedig azt észlelték, hogy az az arányossági határig változatlan, maradó alakváltozáskor azonban egy ideig a méretnövelés irányában meghosszabbodik, a méretcsökkenés irányában pedig megrövidül; egy bizonyos alakváltozás elérése után végül a szemcse több részre oszlik.

A megoszlással egyidejűleg gyakran a szemcse egyes részeinek elfordulását is észrevették, valamint azt is, hogy ilyenkor ikerkristályok keletkeznek.

A 24. pontban közölt következtetéseink helyességét még HEYN észleleteivel is igazoljuk.**)

γ_1) *A kohézió körzete a p_r változását jelző hiperbola csúcspontja alatt van.*

26. Abban az esetben, ha a kohézió körzete a p_r változását jelző hiperbola csúcspontja alatt van, az állapotábra a 6. ábra III. rajzához hasonló. Az e csoportba tartozó anyag ugyanolyan természetű, mint az, amelyet a 23–25. pontban ismertettünk, vagyis *szívós és képlékeny* lehet.

d) A felszíni rajzok és az elmozdulás irányvonalának szöge.

27. Kristályos anyagokon az eddigiekben háromféle alakváltozást különböztetünk meg: rugalmast, szívóst és képlékenyt. A rugalmas alakváltozás tehermentesítés után nem hagy nyomot maga után; a szívós- és képlékeny alakváltozással járó elmozdulások azonban, mint már kifejtettük, tehermentesítés után is észlelhetők. A maradandó alakváltozásokkal járó elmozdulások ugyanis a paláston nyomot hagynak. Ha olyan próbatestet veszünk figyelembe, amely igen vékony, síma lemezből készült, úgy annak felszíne az alkotó sík jellegével bír, miért is azon ugyanazok az elmozdulások érvényesülnek, amelyeket az alkotó síkra vonatkozólag már

*) Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1901. Series A. Vol. 195.

**) HEYN a szemcse megnyúlását és a szemcse oszlását oly jellemzőnek tartja, hogy az anyag mikroszerkezetéből a megmunkálás mértékére következtet.

levezettünk. Nézzük e jelenségeket egyenként. Húzás esetén az elmozdulás az 3. ábra ab felületének összes pontjaiból két irányban indul meg. Legelőbb az abc mozdul el jobbra, ekkor tehát az ac vonal csoportjai is így haladnak, majd abd mozdul el balra, akkor ugyanezt a mozgást követik a bd vonal csoportjai is. Amikor pedig $cedo$ jobbra mozdul el, az oc vonal csoportjai ismét ugyanabban az irányban haladnak, mint előbb, épúgy az od vonal csoportjai is, amikor $odfc$ balra mozdul el. Vagyis az od és az oc vonalak csoportjai kétszer akkora mértékben mozdulnak el, mint a többi csoportok, miért is az elmozdulások e vonalak mentén szembetűnőbek. A paláston ezek mentén húzás esetén behorpadás, nyomás esetén duzzadások észlelhetők s ezek alkotják a *felszíni rajzokat*. Minthogy az ac és bd vonalak iránya az anyag sajátosságától függ, ezek metszéspontjában határozott nagyságú szögek képződnek. E szögekkel határozhatjuk meg az elmozdulások irányvonalát.

Hasábalakú testen, mert annak minden oldalfelülete egyúttal egy-egy alkotó sík, minden oldalon ugyanolyan egyenes vonalú hálózat képződik, mint a vékony lemezen.

Hengeralakú próbatesten, mert minden alkotó végtelen keskeny síknak tekinthető, minden alkotón két irányban haladó (ac és bd) vonalrendszer keletkezik. Ezek metszőszöge ép akkora, mint a hasáb oldalfelületein képződötték. Ámde az oly folytonos vonal, amely minden alkotóval ugyanazt a szöget alkotja, *csavarvonal*; ennél fogva a henger palástján kétirányú csavarvonalak keletkeznek.

A felszínrajzok szívós alakváltozásnál némileg elmosódottak, mert a csoport tengelyeinek iránya, sőt távolsága is megváltozik. Képlékeny alakváltozásnál, ha a tárgy deformálása is egyenletes, a felszíni rajzok határozottabbak, mert ennél az irányváltozások nem következnek be.

28. A felszíni rajzok képződését a német LÜDERS vette először észre 1854-ben. Észleleteit DINGLER *Polytechnisches Journal*-jában 1860-ban tette közzé, de közleménye akkor nem talált méltatásra. Hasonló sorsban részesült az orosz BECK 1884-ben és az angol GALLON 1884-ben megjelent ily tárgyú munkája. Ezekről eltérően nagy érdeklődéssel fogadták a francia L. HARTMANN 1896-ban megjelent művét, még pedig azért, mert rendszeres kísérletsorozattal mutatta ki a felszíni rajzok keletkezésének törvényszerűségét és olyan eljárásokat is kidolgozott, amelyek az elmozdulások nyomaint láthatóbbakká tették. HARTMANN szerint a felszíni rajzok akkor válnak jól láthatókká, ha kísérlet előtt a tárgy felületét fényesre csiszoljuk, ha a vastárgyakat azonfelül az igénybevétel után gyöngén ibolyaszínűre befuttatjuk s azután a legfinomabb és már kopott csiszolópapírral ledörzsöljük. A ledörzsölés után a húzás felszínrajzai ibolyaszínűek maradnak, a nyomás vonalai pedig fehér színűek lesznek, mert húzásnál a felület e vonalak mentén behorpadt, nyomás esetén pedig kidomborodott.

Nyomás esetén HARTMANN szerint a vonalak akkor élénkek, ha a nyomásnak alávetendő tárgy magassága az átmérőnél csak kevéssel nagyobb. HARTMANN kísérleti eredményei a következők:

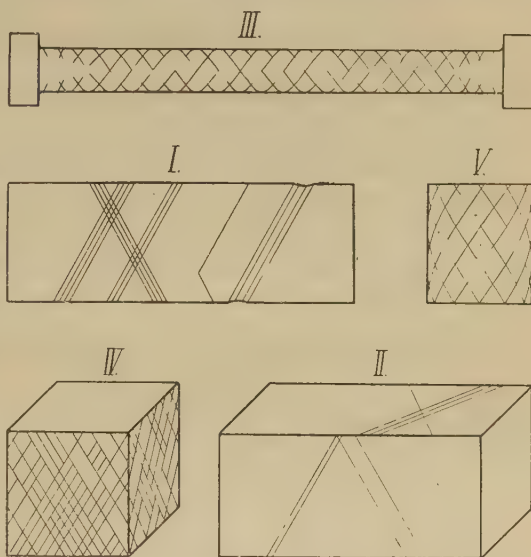
Húzott vékony lemezen két egyenesvonal-rendszer látható (l. a 7. ábra I. képét), amelyek az erő irányából tekintve 90° -nál nagyobb szöget zárnak be. Hasábalakú test minden oldalán látható ez az egyenesekből álló vonalrendszer (l. a 7. ábra II, képét), hengeralakú testen pedig spirálisok észlelhetők (l. a 7. ábra III. képét), ezek a vonalak azonban a fejrészekhez közel álló felületen nem szabályosak.

A *nyomott* kocka minden oldalán ugyancsak egyenes vonalakkal álló vonalrendszerek (l. a 7. ábra IV. képét), a henger palástján pedig csavarvonalakkal állók képződnek (l. a 7. ábra V. képét). A vonalrendszerek által bezárt szögek a nyomóerő irányából tekintve 90° -nál kisebbek, a húzóerő avagy a méretnövelés irányából tekintve pedig nagyobbak. A szögek nagysága tehát útmutatást nyújt arra nézve, hogy melyik irányban állott be a méretnövelés.

29. HARTMANN kísérleteinek legfontosabb eredménye az, hogy fémeknél a felszínvonalak metszéspontjában képződött szögek nagysága a méretváltozás értelme szerint változik. A méretnövelés iránya felé néző szög ugyanis nagyobb 90° -nál: ezt

a szöget a következőkben 2β -val jelöljük,^{*)} a méretcsökkenés iránya felé nézőt pedig, amely 90° -nál kisebb, 2α -val. Ebből következik, hogy fémeknél, azaz kristályos anyagnál az elmozdulás iránya a húzófeszültség irányával $\beta > 45^\circ$ -et, a nyomófeszültséggel pedig $\alpha < 45^\circ$ -et zár be, holott amorf anyagoknál a $14.$ pontban azt találtuk, hogy az mindkét feszültséggel azonos szöget alkot, azaz 45° -ot, vagyis, hogy $\alpha = \beta = 45^\circ$. Kristályos anyagok elmozdulás szögének e változása a csoport alakjának következménye.

Tudjuk, hogy maradandó alakváltozáshoz szükséges, hogy a szemcse súlypontja a fősík mindkét irányában egy-egy osztással mozduljon el.



7. ábra.

A felszínrajzok HARTMANN nyomán.

^{*)} Az újabb irodalomban *Duguet* nyomán a 45° -nál nagyobb szöget szokás α -val jelölni. Minthogy e csúszásszöget *Duguet* előtt *Thime* β -val jelölte, mi is β -val jelöljük.

Míthogy pedig amorf anyagoknál (gömbalakú molekulákat véve alapul) a csoportok súlypontjainak egymástóli távolsága, vagyis az osztás mind a három tengely irányában egyenlő, azaz $O_x = O_y = O_z$, a fősíkban az elmozdulás szöge (α), ha az erő az O_x irányát követi:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{O_y}{O_x} = 1, \text{ vagyis } \alpha = 45^\circ \quad (6.)$$

Kristályos anyagoknál azonban a forgástengely irányába eső O_x osztás a 4. ábra jelzése szerint nagyobb a többinél, azaz $O_x > O_y$, ennél fogva az elmozdulásnak a fősíkban képződő szöge lehet kisebb vagy nagyobb 45° -nál aszerint, amint az erő a forgástengely irányát-, vagy az erre merőleges irányt követi. Az első esetben ugyanis

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{O_y}{O_x} < 1, \text{ a második esetben pedig } \operatorname{tg} \alpha = \frac{O_x}{O_y} > 1, \text{ tehát } \alpha \geq 45^\circ \quad (7.)$$

Hogy e kétféle irány közül melyik érvényesül, azt a szívós alakváltozás természetéből állapíthatjuk meg.

Tegyük fel elsősorban, hogy a külső erő valamely tengelyirányt követ, s hogy a forgástengellyel részint $\varepsilon = 0^\circ$ -ot, részint $\varepsilon = 90^\circ$ -et zár be.

Míthogy alakváltozást húzás esetén a 18. pontban kifejtettek szerint az $\varepsilon = 90^\circ$ alatt hajló szemcsék mutatnak, nyomás esetén pedig az $\varepsilon = 0^\circ$ alatt hajlók, azért a csúszás iránya és a húzóerő által alkotott szög tangense: $\operatorname{tg} \beta = \frac{O_x}{O_y} > 1$, ennél fogva $\beta > 45^\circ$, a nyomóerővel alkotott

szögé pedig $\operatorname{tg} \alpha = \frac{O_y}{O_x} < 1$, tehát $\alpha < 45^\circ$; de mert $\frac{O_x}{O_y} \cdot \frac{O_y}{O_x} = 1$, ezért $\operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1$, azaz α és β kiegészítő szögek:

$$\left. \begin{aligned} \alpha + \beta &= 90^\circ \\ \text{vagy: } 2\alpha + 2\beta &= 180^\circ \end{aligned} \right\} \quad (8.)$$

Míthogy kristályos anyagoknál az α és β szögeknek a 45° -tól való eltérése annál nagyobb, minél nagyobb a molekulának a forgástengely irányába eső mérete a másik tengelymérethez képest, ezért ezek különbsége: $\beta - \alpha = \varphi$, avagy e különbség tangense ($\operatorname{tg} \varphi$) a kristályosodás mértékének tekinthető. Ezt az értéket f -fel jelöljük és *kristályosodás tényezőjének* nevezzük:

$$\operatorname{tg} \varphi = f. \quad (9.)$$

Ámde az α és β szögek kiegészítő szögek s mert ezek különbségét φ -vel jelöltük, azért azok értékét a következőképen fejezhetjük ki:

$$\begin{aligned} \alpha + \beta &= 90^\circ, \\ \beta - \alpha &= \varphi; \end{aligned} \quad \text{tehát} \quad \left. \begin{aligned} \beta &= 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \\ \alpha &= 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \end{aligned} \right\} \quad (10.)$$

Szemcsés szerkezetű anyagban a szemcse tengelyei a tér minden irányát követik. A külső erő hatása alatt azonban elsősorban a legkedvezőbb fekvésű szemcsék, t. i. az $\varepsilon = 0^\circ$ vagy az $\varepsilon = 90^\circ$ $\searrow$ alatt hajlók változtatják alakjukat. Azután az oly szemcsék is deformálódnak, amelyek szöge $\varepsilon > 0^\circ$ vagy $\varepsilon < 90^\circ$ -nál. Ilyenkor a csúszás iránya az erő irányával nem alkothatja a β szöget, hanem egyik szára a $(\beta + \varepsilon)$, a másik szára a $(\beta - \varepsilon)$ szöget. Ha pedig az elmozdult szemcséhez közel olyan szemcse fekszik, amelynek forgástengelye az erő irányával $(180^\circ - \varepsilon)$ szöget alkot, akkor az az irányvonal, amely az előbbi szemcsében $(\beta + \varepsilon)$ szög alatt hajlott, most $(\beta - \varepsilon)$ szög alatt folytatódik s viszont az, amely $(\beta - \varepsilon)$ alatt indult meg, most $(\beta + \varepsilon)$ alatt folytatja útját. Ebből az következik, hogy az elmozdulások irányai folyton változnak. De ha az anyag izotrop-szerű, ezek eredőiránya összeesik a $\beta \searrow$ irányával; ha pedig a szemcsék elrendezése nem teljesen egyenletes, az eredő iránya a szemcsék hajlása következtében módosul. Ez okból abban az esetben, ha az anyag szemcséi előzőleg már külső erőhatásokkal tereltettek valamely irányba, a szemcsék mostani állapotában az elmozdulás irányvonala a húzóerő irányával 45° -nál kisebb-, a nyomóerő irányával pedig 45° -nál nagyobb szöget is alkothat. A β szög tehát nem minden esetben nagyobb 45° -nál. Ez a körülmény nem függ a feszültség nagyságától, hanem a szemcsék hajlásszögétől.

e) Az összetartozó húzó- és nyomófeszültségek.

30. Eddigi tárgyalásainkból kitűnik, hogy növekedő erőhatások esetén a maradó alakváltozásokat az elemi csoportok súlypontjainak elmozdulása okozza és hogy az elmozdulás nagysága képlékeny alakváltozás esetén a fősík mindkét irányában a csoport súlypont-távolságával vagyis az osztással egyenlő. Az elmozdulások azonban a molekulák rugalmas kilengése következtében keletkeznek, az erő irányában végbe-menő kilengések pedig a feszültségekkel arányosak. Ép ezért a feszültségek viszonya helyett a rugalmas méretváltozások viszonyát vehetjük. Hogy e törvényt képlettel kifejezhessük, jelöljük az egy csoportra ható külső nyomóerőt q'' -vel, az egy csoportra ható húzóerőt pedig p'' -vel. Minthogy kristályos anyagok esetén a 18. pontban kifejtettek szerint a nyomóerő forgási tengely irányában hat, ebben az irányban az osztás O_x , a húzóerő pedig a forgási tengelyre normálisan működik, az irányába eső osztás tehát O_y ; ennél fogva a fenti törvényt a következőképen fejezhetjük ki: $q'':p'' = O_x:O_y$, avagy tört-alakban írva:

$$\frac{q''}{p''} = \frac{O_x}{O_y} \quad (11.)$$

Kísérletekkel azonban nem az egy csoportra ható erőt, hanem a felületegységre ható q_e és p_e feszültségeket határozzuk meg s azért a q'' - és p'' -nek

a q_e - és p_e -hez való viszonyát is ismernünk kell. Minthogy a csoportok egymástóli távolságát a tér három irányában O_x , O_y , O_z -vel jelöltük, a felület-egységre eső csoportok száma nyomásnál $\frac{1}{O_y O_z}$, húzásnál $\frac{1}{O_x O_z}$. Ebből az következik, hogy

$$q'' = q_e \cdot O_y \cdot O_z \text{ és } p'' = p_e \cdot O_x \cdot O_z,$$

ezeket a 11-ik képletbe helyettesítve kapjuk:

$$\frac{q_e O_y O_z}{p_e O_x O_z} = \frac{O_x}{O_y},$$

ennélfogva

$$\frac{q_e}{p_e} = \left(\frac{O_x}{O_y} \right)^2.$$

De mert a 29. pontban az $\frac{O_x}{O_y} = \operatorname{tg} \beta$ jelzést használtuk, azért

$$\frac{q_e}{p_e} = \operatorname{tg}^2 \beta. \quad (12.)$$

E képlet szerint a képlékeny alakváltozást okozó nyomó- és húzófeszültségek viszonya a csoport alakjától függ; az *elmozdulás irányát, azaz a β szög nagyságát tehát nem a feszültségek határozzák meg, hanem ellenkezően a csoport alakja szabja meg az alakváltozásokhoz szükséges feszültségek viszonyát.*

Azokat a feszültségeket, amelyek az anyag belső szerkezetében azonos változásokat hoznak létre, *összetartozó feszültségeknek* nevezzük.

B) A tér két irányában ható egyenletesen elosztott erők.

31. A tér két irányában ható erők hatásának tárgyalásánál a próbatestet oly szabályos hengernek vagy hasábalakúnak fogjuk tekinteni, melynek magassága a 3. ábrán bc -vel jelölt darab kétszeresénél nem nagyobb, amelynek palástjára hatnak az erők, tengelyiránya tehát tehermentes. Feltesszük továbbá, hogy a külső erők az egész paláston egyenletesen oszlanak el s hogy mindkét irányban egyértelműek, t. i. mindkét irányban húzást vagy nyomást fejtenek ki.

A palástra ható húzóerők a sugárirányban méretnövelést-, a tengelyirányban pedig méretcsökkenést okoznak. Ennélfogva hatásuk az alakváltozás szempontjából teljesen azonos a tengelyirányú, vagyis a homloklapra ható nyomóerőkkel. Minthogy pedig az azonos alakváltozásokat okozó feszültségek *összetartozó feszültségek*, ennélfogva a palástra gyakorolt p_1 húzófeszültség akkora alakváltozást okoz, mint az olyan q_1' tengelyirányú nyomófeszültség, amelynek értéke:

$$q_1' = p_1 \operatorname{tg}^2 \beta. \quad (13.)$$

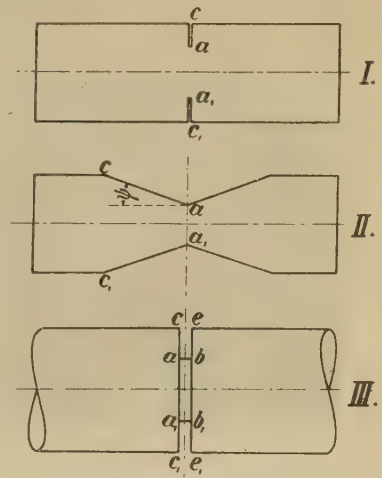
A palástra ható nyomóerők sugárirányban méretcsökkenést-, tengelyirányban pedig méretnövelést okoznak. Ennélfogva hatásuk az alakváltozás szempontjából teljesen azonos a tengelyirányú-, vagyis a homloklapra ható húzóerők hatásával. A palástra gyakorolt q_1 nyomófeszültség hatása tehát olyan tengelyirányú p_1' húzófeszültséggel helyettesíthető, amely ezzel az összetartozó feszültségek viszonyában áll. Ennélfogva:

$$p_1' = q_1 \operatorname{ctg}^2 \beta. \quad (14.)$$

C) A tér három irányában ható egyenletesen elosztott erők.

32. A tér három irányában ható erők lehetnek mind egyenlő értelműek, t. i. valamennyi húzó, vagy valamennyi nyomó, de lehetnek különböző értelműek is, nagyságra nézve szintén lehetnek egyformák vagy különbözők. A próbatest alakját ez esetben is szabályos henger-, vagy hasábalakúnak vesszük fel.

33. A tér három irányában ható egyforma nagyságú húzóerő minden irányban ritkítást okoz. E ritkítás amorf anyagok esetén a kohézió által megengedett határig terjedhet, kristályos anyagok esetén azonban csak a szemcse közötti kohézió határáig. Minthogy e ritkítás folyama alatt az elemi csoportok viszonylagos helyzete nem változik, ezek a tehermentesítés után eredeti helyzetükbe térnek vissza, mozgásuk tehát rugalmas. Ezzel az eljárással a rugalmasság határát a kohézióig növelhetjük. Három irányú húzást gyakorlatilag csak úgy fejthetünk ki, ha egy akciós s kétirányú reakciós erőt alkalmazunk. Az akciós erő tengelyirányú húzóhatást fejt ki, amelynek méretcsökkenését a másik két irányban a szomszédos anyag akadályozza meg. A méretcsökkenést megakadályozó anyagot a következőkben *gátló*-anyagoknak nevezzük. Gátló-anyagot a legegyszerűbben a próbadarab bemetszésével állíthatunk elő. Ha a próbatest szalagalakú, a bemetszést a széleken vesszük végbe (I. a 8. ábra 1. képét). Ebben az esetben a teherhordó aa_1 keresztmetszetben lévő anyag méretcsökkenését a szomszédos anyag annyira gátolja, hogy a szívós anyagok, aminő például a kaucsuk is, minden megnyúlás nélkül szakadnak el. Ha azonban a bemetszést a 8. ábra II. képe szerint hajtjuk végre, vagyis, ha a gátlóanyagot úgy alkalmazzuk, hogy ac s a_1c_1 oldallapjai nem állanak a húzóerő irányára normálisan, hanem azzal β szöveget zárnak be, a kaucsukszalag épúgy nyúlik, mintha sértetlen volna. Ebből az következik, hogy az anyag gátló hatása

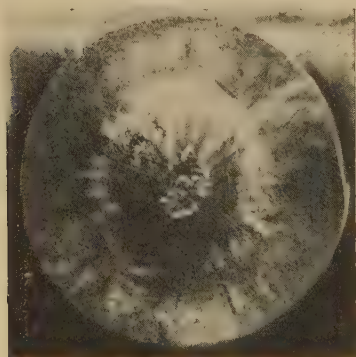


8. ábra.
Bemetszett próbatestek.

a bemetszés oldalfalának (ac lapnak) hajlásszögétől ($\psi \searrow$) függ s mert abban az esetben, ha $\psi = \beta$, a bemetszés teljesen hatástalan, ezért a gátlóanyag húzó hatását $\sin(\psi - \beta)$ függvényen fejezhetjük ki.

Hengeres próbatest esetén a bemetszés a 8. ábra III. képe szerint viendő véghez. Arról, hogy az ilyen bemetszéssel elhelyezett gátlóanyag tényleg húzó hatást fejt ki, ónnal végzett kísérletekkel győződhetünk meg. Az ón bemetszett rúdjaiban ugyanis, amint a 9. ábrából kitűnik, az oldalfal anyaga a közép felé csúszik, ez annak a jele, hogy a két rész között húzóhatás keletkezett.

34. Abban az esetben, ha a tér három irányában működő erők nyomóerők és ha a csoportokat minden irányban egyforma nagyságú feszültséggel szorítjuk egymás felé, a csoportok viszonylagos helyzete nem változik, a sűrűsége sem csökken, csupán kinetikai erélye s ezzel az 1. képlet értelmében p_r feszültsége nő. A minden oldalról egyenlő nagyságú nyomóerővel terhelt test, minthogy terhelés alatt sűrűségváltozást nem szenvedett, tehermentesítés következtében rugalmas mozgást sem végezhet. Ily viszonyok között az anyag teljesen rugalmatlan. Ez az oka annak, hogy például a kaucsuk, ha minden oldalról nyomjuk, úgy viselkedik, mintha teljesen rugalmatlan anyag lenne.



9. ábra.

Ónból készült bemetszett próbatest oldalfalainak elmozdulása.

35. Vegyük már most azt az esetet figyelembe, amikor az erők közül az egyik, még pedig a tengelyirányú nagyobb. Jelöljük a tengelyirányú nyomást q_t -vel, a köpenynyomást q_k -val. Feltevésünk szerint: $q_t > q_k$. E feszültségek hatásának tanulmányozása céljából bontsuk fel a homloklapra ható q_t feszültséget két oly részre ($q_1 + q_2$), amelyek közül az egyik, t. i. a q_2 , ép oly nagyságú, de ellentétes értelmű alakváltozást okozon, mint a q_k , mert ebben az esetben a test alakváltozása a q_1 nagyságától függ. Hogy ugyanis az alakváltozásra következtethessünk, q_2 értékét kell ismernünk. Ha egycdül a q_2 hatna, az általa okozott alakváltozás azonos volna a $p_2 = q_2 \operatorname{ctg}^2 \beta$ húzófeszültség alakváltozásával. De mert a p_2 azonos irányú, azonban ellenkező értelmű a q_k -val, egyensúly esetén ezek egyenlők, azaz $q_k = p_2$, tehát $q_k = q_2 \operatorname{ctg}^2 \beta$.

Ha ezt tudjuk, akkor q_t a következőképen fejezhető ki:

$$q_t = q_1 + q_2 = q_1 + q_k \operatorname{ctg}^2 \beta,$$

ebből

$$q_1 = q_t - q_k \operatorname{ctg}^2 \beta. \quad (15.)$$

E képletből következik, hogy az anyagok alakításához köpenynyomás esetén nagyobb nyomófeszültség szükséges. Köpenynyomás következtében ugyanis nő az anyag szemcse közötti kohéziója a köpenynyomással, azaz a q_k teljes értékével, miért is az anyagok alakíthatásának határa kiterjed, ennek következtében az olyan anyagok, amelyek csak szívósak voltak, képlékenyekké válhatnak, rideg anyagok pedig alakíthatókká.

A rideg anyagok jellemzője ugyanis, hogy a szemcse közötti kohézió ezeknél kisebb, mint az a p_a húzófeszültség, amely a csoportok súlypontjait a méretnövelés irányában a molekula sugarával kilendíti, vagyis

$$\pi_1 < p_a.$$

De mert palástnyomás esetén a szemcsék kohéziója a köpenynyomás értékével nő, a megváltozott kohézió értéke:

$$\pi_1' = \pi_1 + q_k.$$

Az anyag alakíthatósága már most attól függ, hogy $\pi_1' > p_a$ vagy $\pi_1' > p_e$. Az első esetben a kristályos anyag szívósan alakíthatóvá válik, a második esetben pedig képlékeny is lesz. Hogy a rideg kőzetek oldalnyomással párosult nyomóhatások alatt alakíthatók, azt a geológusok a föld mélyében előforduló kőzetekben már régen észlelték. Kísérletileg ezt a tényt első ízben KICK igazolta, a ki e célból márványt, kőst s egyéb rideg anyagokat rézcsőben stearin-, timsó-, sellak-, vagy folyadék-ágyzatban helyezett el; azután összenyomta ezeket, miközben a rideg anyagok törés nélkül alakultak.

36. Az egyenletes terhelések folytán keletkező alakváltozások fizikai okának tárgyalásából kitűnt, hogy minden alakváltozás sűrűségváltozással jár, amely a tér akciós irányában mindig ellenkező értelmű a másik két irányhoz képest és mert a sűrűségcsökkenés csak húzófeszültségekkel, a sűrűség-növelés csak nyomófeszültségekkel hozható létre, ezért *minden terhelés-módot, bármily összetételű legyen is, húzásra s nyomásra lehet visszavezetni*. A húzott s nyomott részek helyzetét pedig a felszíni rajzok segítségével határozhatjuk meg.

II. A MARADÓ ALAKVÁLTOZÁSOK KÍSÉRLETI MEGÁLLAPÍTÁSA ÉS EZEK ÖSSZEFÜGGÉSE A FESZÜLTSÉGEKKEL.

A) A tér egy irányában működő erők.

a) Folytonosan növekedő, lassan ható erők.

α) A feszültségek meghatározása.

37. Rugalmas alakváltozásnál a test méretváltozása oly kis mértékű, hogy a feszültség számértékéül az eredeti keresztmetszetre vonatkoztatott fajlagos erőt vehetjük. Maradó alakváltozásoknál ezt a közelítő számítást nem szabad használnunk, hanem a feszültség valódi számértékét, t. i. a meg-

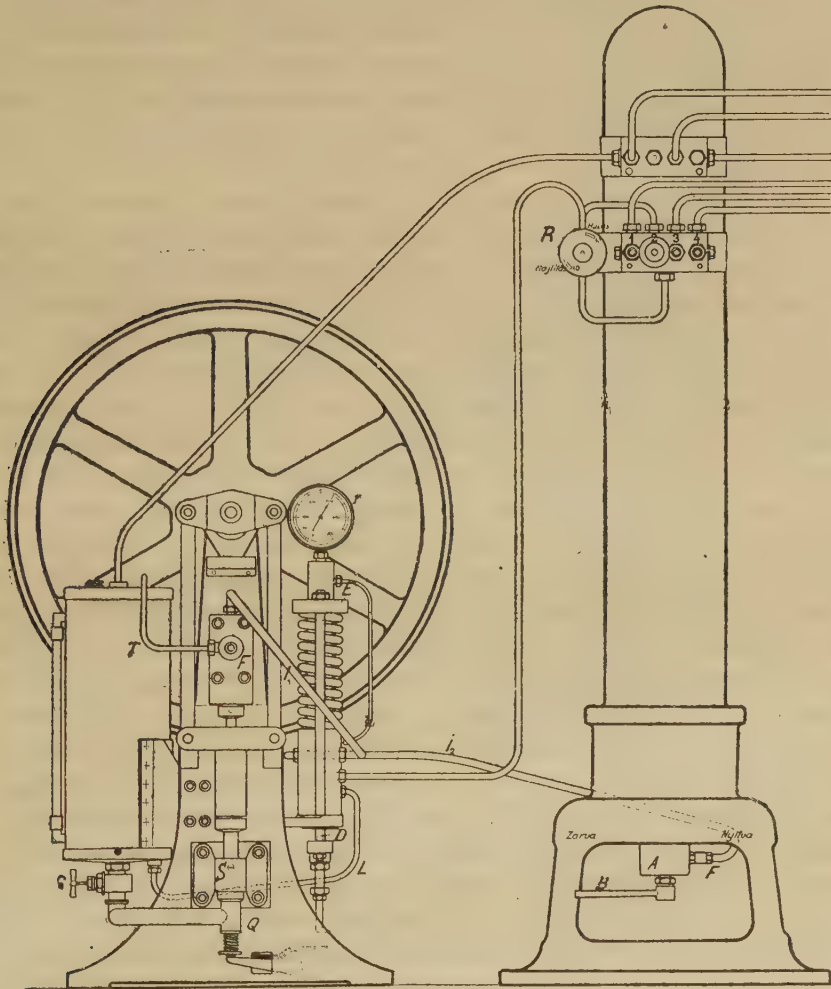
változott, vagyis a mindenkori keresztmetszet egységére vonatkoztatott fajlagos erő értékét kell figyelembe vennünk. A feszültség képlete tehát:

$$p_1 = \frac{P_1}{\Delta_1} \text{ és } q_1 = \frac{Q_1}{\Delta_1} \text{ stb.,} \quad (16.)$$

ha t. i. a kis betűkkel a feszültséget, a nagy betűkkel a teljes külső erő és Δ_1 -gyel a megváltozott keresztmetszetet jelöljük. Hogy a feszültségek az anyag tulajdonságait jellemezhessek, a kísérleteket úgy kell végrehajtaniunk, hogy a külső erőnek a tömegek gyorsítására felhasznált része lehetőleg *csekély* és *állandó értékű* legyen. E követelménynek akkor teszünk eleget, ha az erőt fokozatosan, azaz lökéstől mentesen növeljük. E szempontból legmegfelelőbbek az akkumulátorokkal felszerelt gépek, de jól használhatók a pontosan készített csavarhajtásúak is, legkevésbé felelnek meg az egyhengerű, dugattyús szivattyúval működők. Hogy a gyorsítás csekély legyen, az erőt kifejtő géprésznek, t. i. a húzófejnek vagy a nyomólapnak sebességét lehetőleg állandósítanunk kell és hogy a külső erő a belsőtől nagyon el ne térjen, e géprész sebességét percenként 4 mm-nél kisebbre vesszük. Minthogy a feszültség kiszámításánál csak azt az erőt szabad számításba vennünk, amellyel a próbadarab tényleg ellenállott, ezért az erőmérő szerkezetet, ha azt az akciós oldalra tesszük, a próbadarab és a hajtószerkezet közé kell illesztenünk; ha pedig a reakciós oldalra tesszük, közvetlenül a próbadarab befogó része után helyezzük el. Az erő nagyságát mérlegkarokkal, mérőszelencékkel, vagy becsiszolt, azaz bőrtömítés nélküli dugattyús szerkezettel állapítjuk meg, még pedig a kénesőmanométer mércéjén való leolvasással, vagy — ha a gép rajzolókészülékkel (indikátorral) van felszerelve — az ábráról való leméréssel.

38. A felsorolt rendszerek könnyebb mérlegelése szempontjából a kir. József-műegyetem mechanikai-technológiai laboratóriumának felszerelését ismertetjük. E berendezésnek lényege az, hogy a húzó- és a nyomógépeket lökésmentes járás céljából akkumulátorral hajtjuk. A 10. ábrán látható a légnyomós olajakkumulátor és a megtöltésére szolgáló AMSLER-féle nagynyomású olajszivattyú. Az olajakkumulátort olyan gázzal kell megtöltenünk, amely az olajat nem oxidálja, nem gyantásítja. Erre a célra legalkalmasabb a nitrogén. Ezt az akkumulátorban 200 at-ra sűrítjük s aztán ricínusolajat szivattyúzunk be az akkumulátorba oly mennyiségben, hogy a gáz nyomása 300 at-ra emelkedjék. Minthogy a nitrogént csak 150 at-ra sűrített állapotban kapjuk a kereskedelembe, az akkumulátor megtöltését az olajszivattyú segítségével a következőkép végezzük: A szivattyú szívóterét az S csavar helyén a nitrogénpalackkal összekapcsoljuk, de előbb elzárjuk a szivattyú szívóterének Q jelű alsó golyós csapját, amely rendes viszonyok között nyitva van és csak túlnyomáskor záródik. Az alsó szelep elzárása folytán a szivattyú olajat nem szívhat, hanem csak nitrogént s ezt komprimálva az I_1 és az I_2

csöveken a manométerbe és az akkumulátorba szállítja. Eközben megfigyeljük a manométert. Ha azt vesszük észre, hogy a nyomás a szivattyúzás dacára sem emelkedik, új nitrogénes palackkal cseréljük ki az előbbi, minthogy annak nyomása már túl-alacsony. Rendesen négy



10. ábra.

AMSLER-féle olajszivattyúval kapcsolt légn nyomásos olajakkumulátor.

palack kicserélésével érjük el a 200 at nyomást. Ügyelnünk kell arra, hogy a nitrogén komprimálása következtében a szivattyú ne melegedjék fel nagyon, mert akkor a bőrtömítések elégnének. Ennek elhárítása céljából a szivattyút jeges vízzel kell locsolnunk.

Ha a nitrogént az akkumulátorban 200 at-ra sűrítettük, a szívótérnek a nitrogénpalackkal való összeköttetését leszereljük, ezután leengedjük a

szívótér alsó részében lévő Q szelepet annak rendes állásába, kinyitjuk az olajtartánnyal való kapcsolatot G szelepét s most ricínusolajat szivattyúzunk be mindaddig, míg a nyomás 300 at-ra emelkedik. Ennél a nyomásnál az AMSLER-féle szivattyú önműködően elzárja a szívótér alsó szelepét azáltal, hogy e nyomás következtében a rugós manométer D dugattyúja annyira kitolódik, hogy a Q -ra illeszkedő kart kilendíti. Ha azonban az olaj elzárása bármi okból tökéletlen volna, a nyomás akkor is csak 350 at-ig emelkedhetik, mert ekkor már a rugós manométer dugattyúja oly állásba jut, hogy az L cső nyílása szabaddá válik s ezen az olaj a tartányba visszafolyik.

Az akkumulátor feszültsége a kísérleti gépek hajtására felhasznált olajveszteség miatt folytonosan csökken, ezért, ha az 200 at-ig süllyedt, újból olaj nyomandó be az akkumulátorba. Ilyenkor a szivattyút a következő módon indítjuk meg: Elsősorban az olajtartánynak a szivattyúval való kapcsolatát nyitjuk ki, t. i. a G tús szelepet, még pedig a csavar 2 teljes fordulatával, azután a nyomószelep fölött levő F túsaport nyitjuk ki ugyancsak 2 teljes fordulattal, hogy a nyomóteret az olajtartánnyal összekötve a szivattyút tehermentesítsük. Ilyen helyzetben a szivattyú könnyen megindítható. Ha ez már kellő fordulattal jár, bezárjuk az F szelepet, minek folytán az olaj az 1_1 csövön az akkumulátorba jut. Mihelyt a nyomás eléri a 300 at-t, elzárjuk a szívócsőnek G szelepét és megállítjuk a szivattyút. Ennek kezelése közben ügyelnünk kell arra, hogy a túlalakú szelepek zárásánál túlerőt ne alkalmazzunk, mert akkor ágyazatuk deformálódna s zárásuk tökéletlen lenne. Az akkumulátort 300 at nyomással mindenkor készenlétben tartjuk, de hogy szivárgás folytán nyomásveszteség ne álljon elő, mihelyt a gépeket nem használjuk, az akkumulátort a manometertől az A csappal elzárjuk. Ha a kísérletező gépeket újból használni akarjuk, először is az A zárócsapot kell kinyitnunk. Ezt lassan végezzük, különben a rugós manometerben nagy lökések keletkeznének s ezekről az akkumulátor biztonsági szelepe elzáródna. Sokszor előfordul az az eset, hogy a rugós manometer dugattyúja vagy rugója beékelődik. Ezt csak úgy vehetjük észre, ha a D dugattyú kiálló részét megfigyeljük. Rendes viszonyok között 35–40 mm.-re áll ki a D dugattyú, ékelődéskor azonban e kiálló rész kurtább. Ilyenkor fakalapács-csal eszközölt gyöngé ütésekkel hozzuk a dugattyút a rendes állásba.

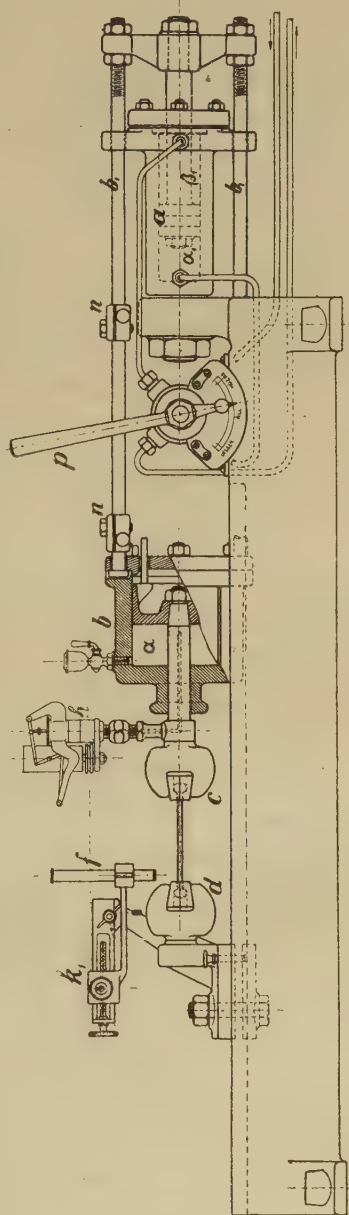
Az akkumulátorban levő olaj manometeren át vezettetik az egyes gépekhez. E célból a manometer az R szeleppel elzárható osztótáblával áll kapcsolatban, amelyből minden géphez külön cső vezet s minden cső külön túszeleppel elzárható. A gép üzembe helyezése céljából az elosztótábla megfelelő túszelepét kinyitjuk. A nyitás nagyságát a gépen alkalmazandó gyorsítás szempontjából kísérletileg állapítjuk meg. A kísérletek megkezdésénél a csapokat a következő sorrendben nyitjuk ki: először is az A , azután az R szelepet, majd az osztótáblán levők közül.

azt, amely a kívánt géppel áll kapcsolatban, végül a gépen levőt. A kísérletek befejezése után az ellenkező sorrendben zárjuk el a szelepeket.

Ezek után az akkumulátorral kapcsolatban álló szakító- és nyomógépet óhajtjuk ismertetni.

A szakítógép lényege a következő:

A próbadarabot (l. a 11. ábrát) a mozdulatlan d és az egyenesbe vezetett mozgó c fejek közé fogjuk be. A c fej közvetlenül a b hengerben mozgó dugattyúrúddal áll kapcsolatban, a b henger pedig a b_1 rudak révén az a hengerben mozgó dugattyú rúdjaival. Az a henger mindkét oldala a gépen lévő szabályozó csappal áll kapcsolatban, úgy hogy az akkumulátorból beömlő olajat az a dugattyú előtti α_1 vagy a mögötte levő β_1 térbe bocsáthatjuk, amely a b hengert előre vagy visszafelé mozgatja. Minthogy a b hengernek α tere olajjal van megtöltve, a henger húzása közben a befogott tárgy ellenállása az olajat összenyomja s mert a dugattyúrúd ki van fúrva, az olaj a furaton át a dugattyúrúdra szerelt h indikátorba tolul és jelzi a nyomást. E gépen a befogófejek gátlásától mentes darabnak, az úgynevezett szabad hosszúságnak megnyúlását a következőképen ábrázolhatjuk: Az f távcsövet a próbadarab jelzővonalára helyezük el, ezt a k_1 szán csavarjával úgy mozgatjuk, hogy hajszálvonalára és félkörű diafragmájának szélé a jelzővonallal folyton egybeessék. Minthogy az indikátor a c dugattyúrúdra van szerelve, a papirostartó dob, ha mozgató drótszála az állványhoz volna kötve, a próbadarab teljes megnyúlásának arányában fejtődnék le, de ha azt a nagytőhöz vagy a k_1 szánhoz kötjük, akkor az egyik befogó fejrész megnyúlásával kisebbedik a lefejtendő hossz; ha pedig a k_1 szánra csigát (zsinórkereket) is szerelünk s e körül vezetjük a papirosdobot hajtó drótszálat, végét azon-



11. ábra.
Szakítógép.

ban úgy kötjük az állványhoz, hogy az 180° -os irányváltozást szenvedjen, akkor a drótból a csiga útjának kétszerese szabadul fel, minek folytán a papirostartó dob az egyik fej megnyúlásának kétszeresével marad

vissza, tehát csak a szabad hosszúság megnyúlását jelzi.

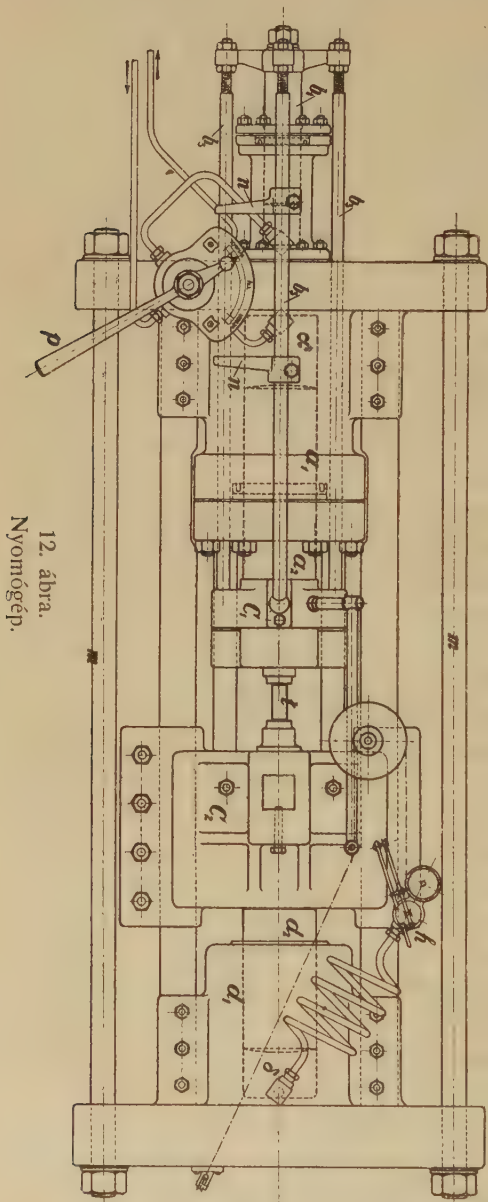
E gépnél az a hengerben mozgó dugattyú útja nagyon is korlátolt. Nehogy a dugattyú a henger fenekéhez vagy fődőjéhez szoruljon, a b_1 rúdra n ütőkövet alkalmazunk, amelyek a p kart középső helyzetébe terelik s ezzel az olaj beömlését megszüntetik.

Az ismertetett húzógépen: az erőmérőhenger az akciós oldalon van ugyan, de elrendezése olyan, hogy a géprészeknek a külső erő okozta surlódása az indikátort nem befolyásolja.

Lehet az erőmérőt a reakciós oldalon is elhelyezni. Ez elrendezésnek egyik módja a 12. ábrán látható, amely a laboratórium nyomógépének alaprajza. Hatását a külső erő az a_1 hengerben mozgó a_2 jelű bőrtömítéssel felszerelt dugattyú útján fejt ki, ha az akkumulátor annak α terével áll kapcsolatban. A reakciót a d_2 tömítés nélküli becsiszolt dugattyú gyakorolja. Minthogy a_1 és d_1 hengerek m rudakkal vannak összekapcsolva, a d_2 dugattyú a δ térben levő ricínusolajat összenyomja; a nyomás nagyságát a h indikátor jelzi. A próbatest nem érintkezik közvetlenül az a_2 és d_2 dugattyúkkal,

hanem az egyenesbe vezetett C_1 és C_2 szerszámtartókkal.

Hogy a δ térből kiszivárgó olaj az erő útját ne befolyásolja, az indikátort a C_2 szerszámtartóra helyezzük, hogy pedig a C_1 szerszámtartót



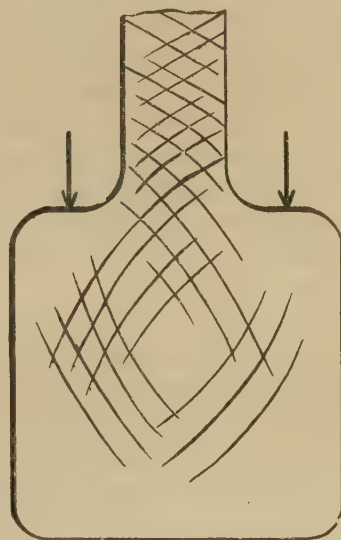
mozgathassuk, azt b_3 rúdakkal a b_1 dugattyúhoz kötjük. Ezzel módunkban áll az a_1 dugattyút eredeti helyzetébe visszaterelni.

Még kell még említenünk, hogy a δ teret kéneső-manométerrel is összeköttetésbe hozhatjuk. Ilyenkor azonban arról is gondoskodnunk kell, hogy a kénesőre ható dugattyú a kísérlet alatt folytonosan ide-oda mozogjon, mert különben ennek tapadása befolyásolja az erő lemerését. Végre arra is kell ügyelnünk, hogy a kéneső elég tág közlekedő csövön haladjon tartályából a manométer csövébe, még pedig annál tágabb csövön, minél nagyobb sebességgel végezzük a kísérletet. Szűk csövön ugyanis nem folyhat át elég mennyiségű kéneső s ekkor a manométer a tényleges nyomásnál kisebb értékeket jelez.

Az imént ismertetett szakító- és nyomógépeken a rajzolókészülék olyan ábrát ad, amelyben a próbatestre ható külső erő a saját irányában végbemenő méretváltozások függvényében van ábrázolva. Ebből az ábrából a feszültséget csak akkor számíthatjuk ki, ha a megváltozott keresztmetszetet ismerjük. Ámde ezt csak egyenletes alakváltozás esetén tekinthetjük ismeretesnek, miért is a következőkben az egyenletes alakváltozás feltételeivel fogunk foglalkozni.

3.1) A húzás.

39. Húzás esetén a maradó alakváltozást — amint ez a 13. ábrán látott felszíni rajzokból kitűnik — a befogott anyagrészek befolyásolják. A húzóerő ugyanis a támadó lapra közvetlenül hatni nem képes, ezért az elszakítandó próbadarabot toldatokkal (fejrészekkel) kell felszerelni, hogy a próbatestet a gép befogó szerkezetével valamelyes módon kapcsolatba hozhassuk. A kapcsolatot surlódással, vagy reáakasztással létesíthetjük. Legolcsóbb a surlódásos kapcsolat, de egyúttal a legtökéletlenebb is, mert egyenlőtlen. A reáakasztás legegyszerűbb módja abban áll, hogy a próbadarabot vastagabb végekkel, fejrészekkel látjuk el, amelyek homloklapjukkal a gép befogó szerkezetéhez támaszkodnak. E támasztó felületek kiképzése céljából a fej nagyobb méretű az elszakítandó test részeinél; hogy ez anyag többlettel az erőátadás ne gátoltassék, a fejrész és a próbatest törzse között oly átmenet készítenőd, amelynek ρ görbületi sugara az átmérőnek, illetőleg a vastagságnak legalább 0,15 része: $\rho \geq 0,15 d$. Hirtelen átmenet esetén a gátlás akkora, hogy a tárgy a fejrész tövénél elszakad.



13. ábra.

A fejrészek befolyása az irányvonalak alakjára.

(HARTMANN nyomán.)

A befogó fejek anyagtöbbletének az egyenletes elcsúszást gátló hatása a felszíni rajzok útmutatása szerint — oly hosszúságú darabra terjed ki, mely a hengeres próbadarab átmérőjével, ha pedig négyzetes a tárgy, annak szélességével egyenlő. Tehát, hogy számításainkhoz a fejrészek befolyásától mentes darabok nyúlását nyerhessük, a fejrészek-től $(1,5 \sim 2)d_0$ vagy $(1,5 \sim 2)b_0$ távolságban lévő keresztmetszeteket megjelöljük s csak a jelek között lévő hosszúságnak, az ú. n. *szabadhosszúságnak* megnyúlását vesszük figyelembe.

40. A húzott próbatest egyenletes alakváltozása a 14. ábra szerint a fősík méreteinek viszonyától is függ. Hosszabb hengeres rudak esetén az anyag igénybevétele a középső keresztmetszetben a 14. ábra szerint nem teljesen olyan, mint a többiben. Hogy e részek eltérése a fajlagos megnyúlás kiszámításában érezhető hibát ne okozzon, szükséges, hogy a szabályosan megnyúló $d \cdot ctg \beta$ (l. a 14. ábra I. képét) hosszúságú darabok száma nagy legyen. De mivel a próbadarab pontos esztergályozása nehézséggel jár, ha a teljes hossza nagyobb az átmérő 16-szorosánál, a *szabad hosszúságot* (h_0) az átmérő 10 ~ 12-szeresénél nagyobbra nem készíthetjük, miért is határértéke: $h_0 = (10 \sim 12)d_0$. Rövidebb próbapálcák adatai csupán *arányos testekre* alkalmazhatók, de az anyag jellemzésére nem.

A hosszú rudak megnyúlása DR. MISÁNGYI VILMOS kísérletei szerint*) mindaddig egyenletes, míg a külső erő legnagyobb értékét el nem éri; a feszültség tehát eddig a határig kiszámítható, ezentúl azonban nem, mert a test megnyúlása csak helyenként megy végbe.

41. Az előző pontokban kifejtett feltételek betartásával végzett kísérletek ábrái nem azonos alakúak. Alakjuk a szemcse közötti kohézió-nak (π_1) a jellemző feszültségi határértékekhez (p_f, p_e, p_{max}) való viszonyától függ.

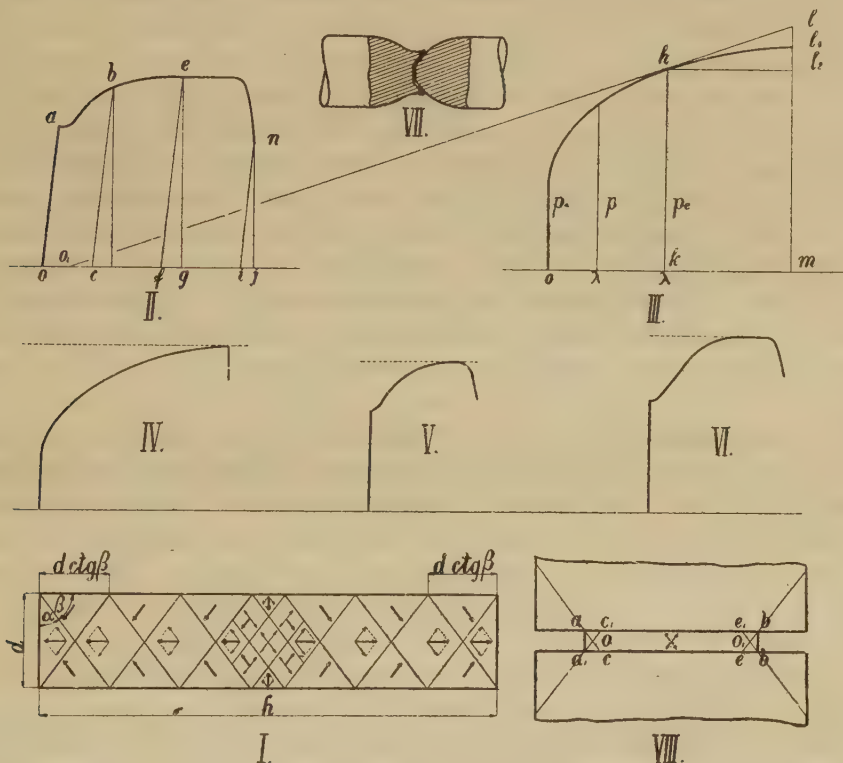
Lehetséges ugyanis, hogy a szemcse közötti kohézió kisebb az orientálódás megindulásához szükséges p_f értékénél:

$$\pi_1 < p_f,$$

ilyenkor az anyag rideg és legnagyobb feszültsége $p_a = \pi_1$. Lehetséges továbbá, hogy a kohézió nagyobb p_f -nél, de kisebb annál a feszültségnél, amely az egyenletes nyúlás határát jellemzi, azaz $\pi_1 < p_e$ s a legnagyobb feszültség ekkor is a kohézióval egyenértékű, azaz $p_{e_x} = \pi_1$. Minthogy ebben az esetben a p_{e_x} kisebb p_e -nél, a húzóerő ábrája sem bírhat vízszintes érintővel. Ha pedig $\pi_1 = p_e$, akkor a húzóerő ábrájának vízszintes érintője is lesz (l. a 14. ábra IV. képét), de az ábra folytonossága az első érintési pontban megszakad. Mindkét esetben az anyag csak szívós, de nem képlékeny.

*) L. A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye 1908. évi 3. és 4. számát.

Lehetséges továbbá az is, hogy a kohézió jóval nagyobb a p_e -nél: $\pi_1 > p_e$. Ekkor ismét két esetet kell megkülönböztetnünk aszerint, hogy a p_e feszültség elérésekor az orientálódás, azaz a szívós alakváltozás befejeződött-e, vagy sem. Jelöljük az orientálódás teljes befejezéséhez szükséges feszültséget a p_{max} -al. Ha tehát $p_{max} = p_e$, akkor a feszültség tovább nem nőhet; de mert a keresztmetszet csökken, a külső erő is csökkenni fog. (L. a 14/V. ábrát). Ilyenkor a tárgynak csak egy $d \cotg \beta$ hosszúságú darabja változtatja meg méretét, vagyis kontrahál. Az alakváltozásnak e faja:



14. ábra.

Az elmozdulások irányvonalai, a külső erő ábrái és a feszültség ábrája húzásnál.

képtelen. Ha azonban $p_e < p_{max}$, de $p_{max} < \pi_1$, a külső erő az előbb kifejtettek szerint csak P_e -ig nőhet, ezen túl pedig, mert a keresztmetszet erősebben csökken, mint ahogy a feszültség nő, a külső erő mindaddig, amíg a feszültség a p_{max} értéket el nem éri, dacára, hogy csökkennie kellene, megtartja értékét, de ekkor az elmozdulások nem az egész rúd hosszában, hanem annak csak egy vagy több $d \cotg \beta$ hosszúságú darabjában mennek végbe. Ilyenkor a külső erő az orientálódáshoz szükséges belső feszültségen és a kontraháló tömeg gyorsításán kívül a kötöttségből eredő feszültségi többletet is igezőzi, ezért állandó

marad, amint ez a 14/Vl. ábrán látható. A szívósság folyama alatt a kontraháló $dctg\beta$ hosszúságú darabok száma azonban igen határozatlan, ezért a húzóerő-ábra vízszintes darabjának hosszúsága azonos méretű próbatestek esetén változó, miért is az ábra e részét az anyag jellemző adatainak számítására nem használhatjuk fel.

A feszültség növekedésének megszűntével az alakváltozás képlékeny s ekkor a kontrahálás még rohamosabb, mint azelőtt, miért is az erő kisebbedik, az ábra tehát lemenő ágat nyer. Hogy a szemcsés szerkezetű anyagban a feszültség a kontraháló részekben a p_e értéken túl is nő, a következő kísérlettel igazolhatjuk. A húzókísérletet a hengeres próbadarab elszakítása előtt félbenhagyjuk, a próbadarabot újból hengeresre esztergáljuk s ismételten húzzuk. Ekkor nem azok a helyek kontrahálódnak, amelyek előbb, hanem egészen mások, ami kétségtelen bizonyítéka annak, hogy a már kontrahált részben az anyag rugalmassági határa nagyobb, tehát keményebb, ez pedig csak folytatódólagos orientálódás következménye lehet.

Ámbár a képlékeny alakváltozás csak akkor indul meg, amikor az erő csökkenni kezd, mégis húzás szempontjából ezt már a vízszintes érintő első érintési pontjától számíthatjuk azért, mert ekkor már a húzott rúd épúgy kontrahált, mint ha anyaga képlékeny volna. *Húzással tehát a próbadarab anyagában lévő szívósságnak csak egy része hasznosítható.*

Megjegyezzük még, hogy a feszültségi görbe sok esetben a p_a rugalmassági határtól kezdve nem folytonos, hanem hirtelen megtörik (behorpad) s csak azután halad szabályosan tovább. Ez a behorpadás a labilis helyzetben lévő és rugalmas utóhatások következtében visszaterelt elemi csoportok gyors elmozdulásának következménye. Azt a feszültséget, amelynél ez a behorpadás bekövetkezik, *folyási határnak* (p_f) mondjuk.

A szakítókísérletek ábráiból közvetlenül a megváltozott keresztmetszet még nem számítható ki, mert az ábra abszcisszái nemcsak a maradó, hanem az összes rugalmas megnyúlást is jelzik. A rugalmas megnyúlást tehát előbb ki kell küszöbölnünk. Hogy ezt tehessük, ismernünk kell a rugalmassági vonal hajlását. Ennek megismerése céljából a kísérletet a szívós alakváltozás folyama alatt egyszer félbeszakítjuk, de a próbadarabot a tehermentesítés után azonnal újból terheljük. Tehermentesítéskor az indikátor irónját a papirosról felemeljük s a papirosdobot annyira visszaengedjük, hogy ismételt terheléskor az irón egy darabon a zérus-vonalon haladjon, mert a rajzolókészülék holt mozgását csak ezúton küszöbölhetjük ki. Ekkor a húzóerők ábrája a 14 II. ábrához lesz hasonló. Az ábra alapvonalát (o_j) a kísérlet megkezdése előtt húzzuk meg, ez ugyanis az irónnak azt az állását jelzi, amikor a próbadarab megterheletlen. Az első igénybevételkor az irón az oab vonalat rajzolja, tehermentesítés után pedig a cbn vonalat. A cb vonal egyenes része a rugalmasság vonala s ennek

az abszcisszával alkotott szöge azonos az oa vonalával. A rugalmas vonal segítségével a rugalmas megnyúlást a következő eljárással küszöböljük ki. Az abn vonal bármely pontjából, például az e -ből, a rugalmas vonallal párhuzamos ef -et és az abszcisszára merőleges eg -t húzzuk meg. Ekkor az og teljes megnyúlás két részre van osztva: az fg a próbatest és a gép rugalmas, az of pedig a próbatest maradó megnyúlását adja.

42. A rugalmas megnyúlás kiküszöbölése után a maradó megnyúlásból a fajlagos maradó megnyúlást számíthatjuk ki. Ha a maradó megnyúlást s_1 -gyel, a próbadarab szabad hosszúságát h_0 -val jelöljük akkor a fajlagos maradó megnyúlás:

$$\lambda_1 = \frac{s_1}{h_0}. \quad (17.)$$

Minthogy a leggondosabban esztergályozott hengeres próbadarab is csak addig a határig nyúlik egyenletesen, amíg a külső erő legnagyobb értékét el nem éri, ezért a fajlagos egyenletes megnyúlás ugyanakkor éri el legnagyobb értékét. Hogy ennek számbeli értékét megállapíthassuk, a 14/II. ábrán feltüntetett húzóerő-görbéhez, az obn -hez, az abszcisszával párhuzamos érintőt húzunk, ennek első érintési pontjából e -ből pedig meghúzzuk a rugalmas vonalat és az abszcisszára a merőlegest. A legnagyobb húzóerőt ekkor az eg ordináta adja, amelyet összetartozó értékeivel együtt ezentúl e indexszel jelöljük meg. A legnagyobb húzóerő tehát: $P_e = eg$, az ezáltal okozott maradó megnyúlás: $of = s_e$, ennél fogva a legnagyobb fajlagos egyenletes megnyúlás értéke:

$$\lambda_e = \frac{s_e}{h_0}. \quad (17/a.)$$

Az anyag jellemző adatának ezt az értéket kell tekintenünk, nem pedig a szakításig végbemenő teljes megnyúlásból ($s_e = oi$ -ből) kiszámított, úgynevezett teljes fajlagos nyúlást, vagyis a $\lambda_t = \frac{s_s}{h_0}$ értéket. Az egyenletes megnyúlás után ugyanis nem az egész rúd nyúlik meg, hanem annak csak egyik $dctg\beta$ része, miért is a 14/II. ábrán látható fi méretnövelés nem az eredeti hosszúságnak, hanem az átmérőnek a függvénye. Ha tehát ezt a megnyúlást az eredeti hosszúságra vonatkoztatjuk, hibásan járunk el, mert az egymástól független változókat egymástól függőknek tekintjük.

43. A fajlagos megnyúlás ismerete alapján a megváltozott keresztmetszetet (Δ_1 -t) a köbtartalom állandóságából számíthatjuk ki, mert a szívós alakváltozás következtében végbemenő maradandó sűrűségváltozás a maradandó méretnöveléshez képest oly csekély, hogy annak elhanyagolásával okozott hiba lényegesen kisebb a legjobb anyag egyenlőtlen-ségi határánál.

A köbtartalom állandóságát az eredeti s a megváltozott méretekkel kifejezve:

$$K = \Delta_0 h_0 = \Delta_1 h_1,$$

ebből

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_0 h_0}{h_1},$$

de mert

$$h_1 = h_0 + s_1$$

és a 17. képlet szerint

$$\frac{s_1}{h_0} = \lambda_1,$$

így

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_0}{1 + \lambda_1}. \quad (18.)$$

A megváltozott keresztmetszet e kifejezését a 16. képletbe helyettesítve, a feszültséget így is írhatjuk:

$$p_1 = \frac{P_1}{\Delta_0} (1 + \lambda_1). \quad (19.)$$

Az egyenletes megnyúlás határánál érvényesülő feszültség pedig:

$$p_e = \frac{P_e}{\Delta_0} (1 + \lambda_e). \quad (19/a.)$$

Ez a feszültség az anyagra époly jellemző, mint a legnagyobb fajlagos megnyúlás, ezért ennek a határértéknek külön elnevezést adunk s *legnagyobb húzókeménységnek* nevezzük.

Régebben az anyag jellemző adatának a 19/a. képletben szereplő

$$\frac{P_e}{\Delta_0} = \sigma$$

értéket tekintették, amelyet *szilárdságnak* nevezünk. Ez az érték a 19/a. képlet szerint a húzókeménységgel a következő összefüggésben áll:

$$p_e = \sigma (1 + \lambda_e). \quad (19/b.)$$

Alakítható anyagokra a szilárdság (σ) nem jellemző, mert ennek kiszámításánál az erőt tőle független keresztmetszetre vonatkoztatjuk, de mert ebből a húzókeménység, ha az egyenletes fajlagos megnyúlást is megadjuk, kiszámítható, ezért a keménység helyett ennek számértéke is felhasználható az anyag jellemzésére. Hogy a keménység jellemzőbb a szilárdságnál, kitűnik abból is, hogy számértéke mindig ugyanaz marad, akár elszakítjuk a próbatestet az első kísérlet alkalmával, akár pedig előbb valamely P_e alatti határig igénybe vesszük; holott a σ érték az utóbbi esetben lényegesen nagyobbodik.

Tömörödő anyagból készült próbatestek esetén, aminők a fonalak és kötelek, a keresztmetszetet meg sem tudjuk határozni, ennél fogva a

feszültséget sem tudjuk kiszámítani. Ilyenkor tehát a feszültség helyett a *szakítóhosszúsággal* jellemezhetjük annak mechanikai tulajdonságát.

Szakítóhosszúságnak (R) azt a fonalhosszt nevezzük, amelynek súlya alatt a felfüggesztett fonal elszakad. Ennélfogva az R hosszúságú fonal súlya egyenlő értékű a szakító erővel (P_{sz}), vagyis:

$$P_{sz}^{kg} = \Delta_0^{min2} R^{km} \cdot \varepsilon_1 \cdot \gamma = \Delta_0 \frac{p_e}{1 + \lambda_e}, \quad (20.)$$

ha ugyanis ε_1 -gyel a test tömörségének fokát és γ -val az anyag fajsúlyát jelezzük. A 20. képletből R értékét kifejezve:

$$R^{km} = \frac{P_{sz}}{\Delta_0 \varepsilon_1 \gamma} = \frac{p_e}{1 + \lambda_e} \cdot \frac{1}{\varepsilon_1 \gamma}. \quad (20/a.)$$

E képlet szerint tehát a *szakítóhosszúság* csak akkor arányos a *feszültséggel*, ha a test tömörségének foka (ε) és anyagának fajsúlya (γ) ugyanaz.

44. A 19. képlet szerint a húzófeszültség a fajlagos méretnövelés függvénye. Ezt a függvényt grafikailag is ábrázolhatjuk. E célból derékszögű koordináta-rendszerben ordinátaként jelöljük a feszültséget, abszcisszaként pedig a hozzátartozó fajlagos megnyúlást. Így eljárva a 14./III. ábrán látható *feszültségi ábrát* kapjuk.

A 19. képletet P_1 szerint rendezve:

$$P_1 = \Delta_0 \frac{p_1}{1 + \lambda_1}. \quad (21.)$$

E képletből következik, hogy a külső erő csak addig nőhet, míg a feszültség növekedése nagyobb a keresztmetszet kisebbedésénél, vagyis míg $\frac{p_1}{1 + \lambda_1}$ tört értéke nő. Minthogy pedig a külső erő maximális értékénél a $\frac{p_e}{1 + \lambda_e}$ tört értéke is maximum, ezért, ha ezt a kifejezést $tg \omega$ -val tesszük egyenlővé:

$$tg \omega = \frac{p_e}{1 + \lambda_e}, \quad (22.)$$

úgy ez oly derékszögű háromszög tangensét jelenti, amelynek egyik befogója a p_e , a másik befogója pedig az $1 + \lambda_e$ érték, az átfogója pedig a feszültségi görbe érintője, mert (p_e, λ_e) ponton túl $tg \omega$ értéke csökken. Mondhatjuk tehát: *A feszültségi ábra jellemző tulajdonsága, hogy az abszcisszatengely o kezdőpontjától egységnyi távolságban, azaz - 1-ben fekvő o_1 pontjából húzott érintő első érintési pontjának ordinátája a legnagyobb húzókeménységet, a p_e -t, abszcisszája pedig a legnagyobb egyenletes fajlagos nyúlást, a λ_e értékét adja meg.*

45. Minthogy a feszültségi ábra, a folyási határtól eltekintve, folytonos görbe, ezért a feszültségek függvényét *analitikai képlettel* is kifejezhetjük. E célból a húzófeszültségi ábrát oly parabolával helyettesítjük, amelynek csúcspontja a rugalmassági határnál van: Az ilyen parabolának képlete:

$$(y - y_0)^2 = 2 \psi x;$$

de mert a mi esetünkben

$$y_0 = p_a, x = \lambda_1 \text{ és } y = p_1;$$

képletünk alakja:

$$(p_1 - p_a)^2 = 2 \psi \lambda_1;$$

ha pedig az egyenletes nyúlás értékeit vesszük, akkor:

$$(p_e - p_a)^2 = 2 \psi \lambda_e.$$

Ebből a 2ψ értéket meghatározva és a fentebbi képletbe helyettesítve:

$$(p_1 - p_a)^2 = (p_e - p_a)^2 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_e}. \quad (23.)$$

Ezt p_1 szerint megoldva, megkapjuk a feszültség analitikai képletét, amely a következő:

$$p_1 = p_a + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \sqrt{\lambda_1}. \quad (24.)$$

Az e képletben szereplő és a parabola csúcspontjának ordinátáját jelző p_a értéket azonban még nem ismerjük. Ezt a 24. képlet segítségével meghatározhatjuk, ha a feszültségi görbét olyan parabolával helyettesítjük, amely a görbe kezdetén levő pontjain megyen át. Kétségtelen, hogy e csúcspont ordinátája kisebb a folyási határt jelző pont p_f ordinátájánál. Hogy e feltételnek eleget tevő csúcspontot kapjunk, a számítás alapjául szolgáló két pontot lehetőleg közel vesszük a folyási határhoz, attól azonban az első pontot mégis oly távolságban, hogy annak ordinátája a rugalmas utóhatásoktól vagyis a folyási határt követő behorpadástól mentes legyen.

Számításaink egyszerűsítése kedvéért a figyelembe veendő két pontot olyképpen választjuk, hogy a második pontnak az abszcisszája kétszerese legyen az első pont abszcisszájának.

A fenti követelményeknek eleget teszünk, ha $\lambda_e > 0,10$ esetén a $\lambda_1 = 0,05$ és a $\lambda_2 = 0,10$ abszcisszával bíró pontokat vesszük figyelembe, $\lambda_e < 0,10$ esetén pedig a $\lambda_1 = 1,2 \lambda_e$ és a $\lambda_2 = \lambda_e$ abszcisszájukat. E pontok ordinátáit s abszcisszáit a 24-ik képletbe helyettesítve két egyenletet nyerünk, amelyek kivonásával arra az eredményre jutunk, hogy a csúcspont ordinátája abban az esetben, ha $\lambda_e > 0,10$:

$$p_a = 3,41 p_{\lambda_1 = 0,05} - 2,41 p_{\lambda_1 = 0,10}, \quad (25.)$$

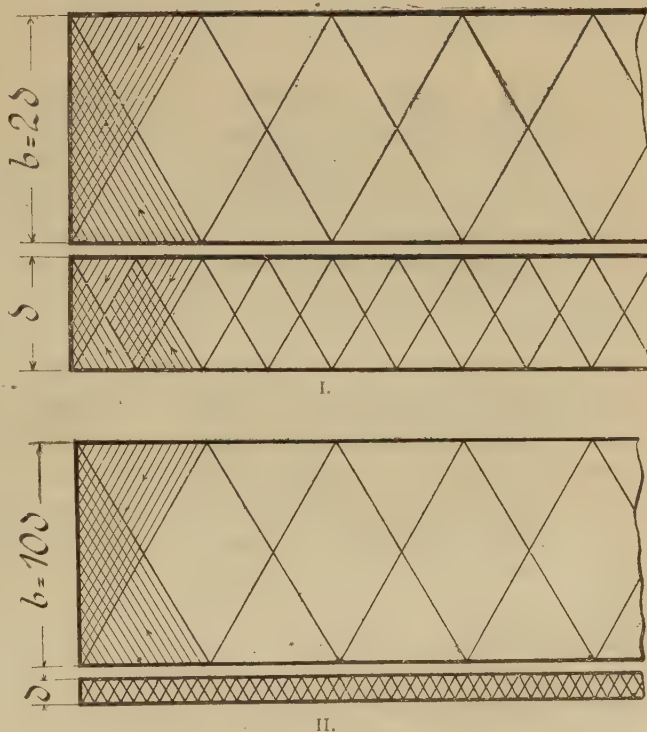
ha pedig $\lambda_e < 0,10$:

$$p_a = 3,41 p_{0,5 \lambda_e} - 2,41 p_e. \quad (26.)$$

Ez a csúcspont azonban nem azonos a kísérleti rugalmassági határral. Minthogy a helyettesítő parabola képlete a rugalmas utóhatásokat figyelembe nem veszi, ezért analitikai képletünk csekély alakváltozások esetén, vagyis addig, míg a fajlagos megnyúlás (λ_1) értéke kisebb a rugalmas utóhatások körzeténél, nem is ad megegyező értéket. A mechanikai technológiában azonban csak nagyobb alakváltozásokkal foglalkozunk, ilyen esetekre pedig a képletünkkel számított érték a kísérletekkel jól megegyezik.

Eddig a kör-keresztmetszetű próbarudakat vettük figyelembe, lássuk most a négyszög-keresztmetszetűeket.

46. Négyszög-keresztmetszetű próbapálcák esetén kétféle fősíkkal van dolgunk: az egyik a tárgy szélességének (b), a másik pedig vastagságának (δ) irányában halad. Ha a vastagság egyenlő a szélességgel, azaz, ha $\delta = b$, a két fősik egyforma és ugyanolyan, mint a $b = d$ átmérőjű henger fősíkjá. Ezért, ha a próbatest szabad hosszúságát $10 \sim 12 b_0$ -ra, a jelzőpontok távolságát pedig $2 b_0$ -ra veszszük, a megnyúlási és feszültségi viszo-



15. ábra.

Lapos vasak fősíkjában végbemenő elmozdulások irányzata.

nyok olyanok, mint a hengeréi, miért is a hengerre levezetett feszültségi képletek arra is érvényesek. Kísérleteim szerint a fősíkok befolyása még akkor is az anyag egyenlőtlenségének határán belül fekszik, ha a szélesség kisebb a vastagság háromszorosánál: $b < 3\delta$. (L. a 15 I. ábrát.) Ilyenkor azonban a jelzővonalak a fejrésztől $(1,5 \sim 2) b_0$ távolságban helyezendők el.

Ha azonban $b > 3\delta$, a két különböző méretű fősik erősen befolyásolja az anyag mozgását, ezért e próbarudak kísérleti eredményeit, t. i. a fajlagos erő s a nyúlás értékeit, csakis az olyan testekre alkalmazhatjuk, amelyek méretei a próbatesttel arányosak.

Ha pedig $b > 10\delta$ (l. a 15/II. ábrát), vagyis ha vékony lemezeket vizsgálunk, a vastagság irányába eső fősíki mozgása túlszárnyalja a szélesség irányába esőt, miért is a jelzővonalak csak 2δ távolságban helyezendők el. Ámde ez oly kis méret, hogy ennek elhanyagolása nem okoz számottevő hibát. Lemezek szakításánál tehát a jelzővonalaktól eltekinthetünk s az indikátorral az egész megnyúlást felrajzoltathatjuk. Hangsúlyozzuk azonban, hogy lemezek szakítási eredményeit ismét csak lemezek, vagyis arányos testek eredményeivel hasonlíthatjuk össze.

A húzásnál szereplő feszültségi viszonyokat ismerve, a nyomásra térünk át.

β_1) A nyomás.

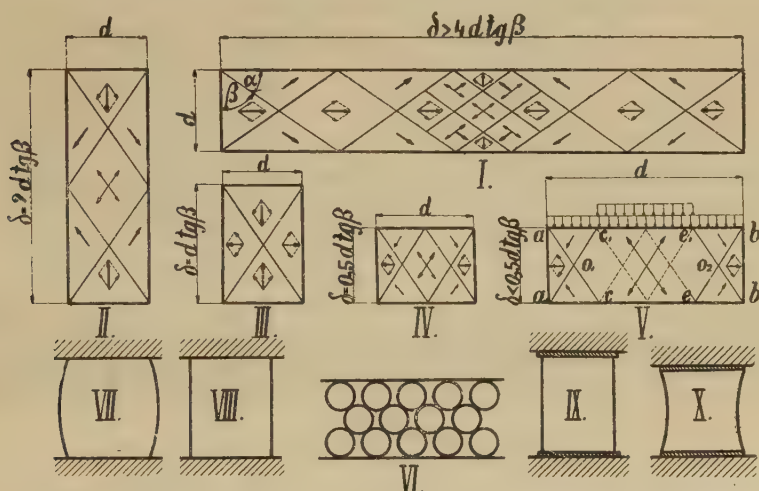
47. Nyomásnál a kísérleti gép *párhuzamosan vezetett* nyomólapjai az erőhatást a próbadarab támadó lapjaira közvetlenül fejtik ki, ezért a próbadarabokat nem szabad fejrészekkel ellátni. A fejrész hiánya miatt a szabad hosszúságot a próbadarab teljes hosszúsága adja, miért is a rajzoló-készülékkel a próbadarab teljes méretcsökkenését kell felrajzoltatnunk.

Hengeres próbatesteknél, ha a magasság (δ) sokszorosa az átmérőnek (l. a 16/I. ábrát), a támadó lapok mellett levő részeknek elmozdulása következtében, ha az elmozdulások nem teljesen szimmetrikusak, a támadó lapok középpontja már nem esik össze a külső erő eredőjével, ennél fogva forgató erőpár támad, amely a próbatestet kihajlítja. A kihajlítás veszélye csökken a tárgy hosszának csökkenésével és teljesen megszűnik akkor, ha $\delta = d \operatorname{tg} \beta$ (l. a 16/III. ábrát), mert ebben az esetben a test egyenletesen változtatja meg alakját. Gyakorlati szempontból a kihajlás veszélyét már kiküszöböltnek tarthatjuk akkor is, ha $\delta = 2d \operatorname{tg} \beta$ (l. a 16/II. ábrát), mert az alakváltozásnál δ csökken, d pedig nő s így közöttük csakhamar beáll a $\delta = d \operatorname{tg} \beta$ kedvező viszony. Ezt figyelembe véve, a feszültségek számítása céljából megejtendő kísérletekhez oly próbatesteket is használhatunk, amelyeknél $\delta_0 = 2d_0 \operatorname{tg} \beta$. Ez a magasság közel egyenlő $2,5d_0$ -val, miért is a próbatestek legnagyobb magassága $\delta_0 = 2,5d_0$ -re vehető.

Ezek után azokat az eseteket is meg kell vizsgálnunk, amelyekben $\delta < d \operatorname{tg} \beta$. Az elmozdulások irányvonalainak hálózataiból (l. a 16. ábra I—V. képeit) kitűnik, hogy addig, amíg $\delta > d \operatorname{tg} \beta$, a szerszám alatt oly részek vannak, amelyek csak a szerszám irányát követik, ennél fogva a tárgy s a szerszám között csak a rugalmas mozgás okozta surlódás hat, ellenben, ha $\delta < d \operatorname{tg} \beta$, akkor a tárgynak a nyomólapokkal érintkező része is elmozdul, ennek következtében surlódik. Ha $\delta < 0,5d \operatorname{tg} \beta$, a nyomótest középső részének (l. a 16. ábra V. rajzát) minden elemi csoportjára négy irányú elmozdító erő hat, amelyek eredője zérus. Ezért e részek mozdatlanok. A szélén lévő aa_1c_1 és bb_1e_1 részek elmozdulhatnak ugyan, ha a nyomólapok egymáshoz közeledhetnének, csakhogy azok az elmozdulatlan csoportok miatt helyzetüket egyelőre meg nem változ-

tathatják. Hogy a nyomólapok tényleg közelebb juthassanak, az eddigi egyenletes eloszlású erőn kívül a mozdulatlan részekre oly többlet alkalmazandó, amely ezeket is kimozdítani képes. Ez alapon kimondhatjuk, hogy a $\delta < 0,5 d \operatorname{tg} \beta$ esetén az *alakváltozás egyenletes* ugyan, de az *erő eloszlása nem az*, miért is ily próbatest a feszültségek számítására minden további megszorítás nélkül nem alkalmas. Ez okból a feszültségek egyszerűbb kiszámítása céljából végzendő kísérletekhez olyan próbatestek veendők, amelyeknél a méretek viszonya $\delta = (2 \sim 0,5) d \operatorname{tg} \beta$ határértékek között mozog.

48. Tegyük fel, hogy próbatestünk hengeres és magassága eleget tesz annak a feltételnek, hogy $\delta = (2 \sim 0,5) d \operatorname{tg} \beta$. A feszültség álta-



16. ábra.

Az elmozdulások irányvonalai nyomásnál. A nyomott próbatestek alakváltozása kenőszerek alkalmazása esetén.

lános definíciója szerint $q_1 = \frac{Q_1}{\Delta_1}$, ennél fogva a feszültség számértékét megkapjuk, ha az erőt a megváltozott keresztmetszettel elosztjuk. A megváltozott keresztmetszetet a köbtartalom állandóságából számíthatjuk ki:

$$K = \Delta_0 \delta_0 = \Delta_1 \delta_1,$$

ebből, ha a magasság fajlagos csökkenését (ε_1) hozzuk be:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_0} = \frac{\delta_0}{\delta_1} = \frac{\delta_0}{\delta_0 - s_1} = \frac{\delta_0}{\delta_0 \left(1 - \frac{s_1}{\delta_0}\right)} = \frac{1}{1 - \varepsilon_1},$$

vagy, ha az átmérő méretnövelését fejezzük ki:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_0} = \frac{d_1^2}{d_0^2} = \frac{(d_0 + s'_1)^2}{d_0^2} = (1 + \lambda_1)^2 = \frac{\delta_0}{\delta_1}.$$

Ezek alapján:
$$\Delta_1 = \Delta_0 \frac{\delta_0}{\delta_1} = \Delta_0 (1 + \lambda_1)^2 = \frac{\Delta_0}{1 - \varepsilon_1}, \quad (27.)$$

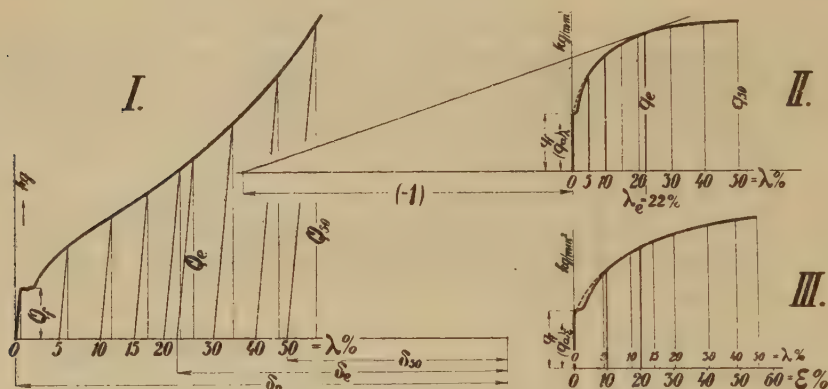
ezt a feszültség képletébe helyettesítve:

$$q_1 = \frac{Q_1}{\Delta_0 \frac{\delta_0}{\delta_1}} = \frac{Q_1}{\Delta_0 (1 + \lambda_1)^2} = \frac{Q_1 (1 - \varepsilon_1)}{\Delta_0}. \quad (28.)$$

A nyomófeszültség tehát az átmérő fajlagos méretnövelésének, avagy pedig a magasság fajlagos méretcsökkenésének a függvénye.

Hogy a függvény érvényességének határát megállapíthassuk, fejezzük ki a 28. képlet alapján a nyomóerőt:

$$Q_1 = \Delta_0 \frac{\delta_0}{\delta_1} q_1 = \Delta_0 (1 + \lambda_1)^2 q_1 = \frac{\Delta_0}{(1 - \varepsilon_1)} q_1. \quad (29.)$$



17. ábra.

A nyomóerő és nyomófeszültség ábrái.

Ebből a képletsorozatból kitűnik, hogy a nyomóerő akkor is nő, ha q_1 állandó. Ennélfogva a feszültség legcsekélyebb növekedése növeli a külső erőt, miért is nyomáskor a szívósság az egész próbatesten teljes mértékben érvényesül, holott húzáskor az egész rúdban a feszültség csak az egyenletes nyúlás határáig nőtt. Amire a feszültség legnagyobb értékét, q_{max} -ot eléri, az a további alakváltozáskor állandó, miért is a feszültségek ábrája az abszcissa-tengellyel párhuzamossá válik, mely okból az nem parabolával, hanem csak ellipszissel helyettesíthető.

Hogy a feszültségeket, valamint az általuk okozott méretváltozásokat kiszámíthassuk, a nyomóerő-ábrára van szükségünk. Várható alakjait a 29. képletből vezethetjük le. Rideg anyagoknál az erő vonala csak a rugalmas vonalból áll, képlékeny anyagoknál azonban, mert q_1 állandó és $Q_1 \delta_1 = \Delta_0 \delta_0 q_1 = \text{constans}$, ennélfogva az erőnek δ_1 szerinti változása a hiperbola törvényét követi, amelynek alakját azonban a rugalmas megnyúlás némileg módosítja. A kísérleti görbe tehát homorú és hiperbolához hasonló. Szívós anyagoknál a feszültség kezdetben rohamosan nő, ennélfogva az erő vonala kezdetben erősebben domborodik, később azonban

mindjobban símúl a hiperbola alakjához, amint ezt a 17. ábra I. képe mutatja. Ezeket az ábrákat a feszültség számítására csak akkor használhatjuk, ha az összes méretváltozásból az összes rugalmast kiküszöböljük. E célból a kísérlet befejezése előtt a próbatestet egyszer tehermentesítjük és azonnal újból megterheljük, hogy a rugalmas vonalat megkaphassuk. A rugalmas vonalat ismerve, a maradó méretcsökkenést ugyanazzal az eljárással kapjuk meg, mint húzás esetén a méretnövelést, vagyis a maradó méretváltozást a kezdőponttól a rugalmas vonal metszéspontjáig terjedő abszcissa adja meg. Ha tehát σ -ból kiindulva megjelöljük a δ_0 értékét, akkor ennek végpontjából a rugalmas vonal metszéspontjáig terjedő része a megváltozott magasságot, a δ_1 -et adja meg.

Ezt ismerve, a feszültséget a 28. képlettel kiszámíthatjuk.

49. A kiszámított feszültségeket már most vagy az erő irányában előálló fajlagos méretcsökkenés $\varepsilon_1 = \frac{\delta_1}{\delta_0}$ függvényében, vagy pedig az átmérőben beállott méretnövelés (λ_1, λ_2) függvényében ábrázolhatjuk. Az első függvényt a 17 III., a másodikat a 17/II. ábra mutatja. A feszültségi görbének alakja mindkét esetben negyed-ellipszis, de ezek hirtelen emelkedő részei épúgy helyettesíthetők parabolával, mint a húzófeszültség ábráján. Minthogy izotrópszerű anyag esetén az összetartozó húzó- és a nyomófeszültség viszonya a λ_e méretnövelés szomszédságában állandó, ezért a — 1-ből húzott érintő a nyomófeszültség ábráját is a λ_e abszcisszával bíró pontban érinti. A nyomófeszültség görbéjét tehát ez a viszony jellemzi:

$$\frac{q_1}{1 + \lambda_1} = tg \omega_1.$$

Ebből pedig az következik, hogy az izotrópszerű anyagoknál a — 1-ből húzott érintő érintési pontjának ordinátája azt a nyomófeszültséget jelzi, amely ugyanakkora méretnövelést okoz, mint húzásnál a p_e feszültség, miért is az érintési pont abszcisszája az egyenletes nyúlást (λ_e), ordinátája pedig a hozzátartozó q_e -t jelzi.

50. Ha a feszültségi görbéket analitikailag akarjuk kifejezni, a görbék csúcspontját, azaz a q_e -t kell ismernünk. Ezt pedig legegyszerűbben a parabola képletével a 45. pontban alkalmazott módon érjük el. Számításunkhoz $\lambda_e > 0,10$ esetén a $\lambda_1 = 0,05$ és a $\lambda_1 = 0,10$ abszcisszájú pontoknak, $\lambda_e < 0,10$ esetén pedig a λ_e s $\frac{\lambda_e}{2}$ -nek, vagy pedig az ezekből kiszámított ε -nak megfelelő abszcisszákhöz tartozó ordinátákat használjuk. Ez okból a 25. és a 26. képletet megfelelően alkalmazhatjuk, vagyis

$$\left. \begin{aligned} q_a(\lambda) &= 3,41 q_{\lambda=0,05} - 2,41 q_{\lambda=0,1} \\ q_a(\varepsilon) &= 3,41 q_{\varepsilon=0,1} - 2,41 q_{\varepsilon=0,2} \\ q_a(\lambda) &= 3,41 q_{0,5 \lambda_e} - 2,41 q_{\lambda_e} \\ q_a(\varepsilon) &= 3,41 q_{0,5 \varepsilon_e} - 2,41 q_{\varepsilon_e} \end{aligned} \right\} \quad (30).$$

Minthogy e feszültségi görbének q_e -ig terjedő részét parabolával helyettesíthetjük, a nyomófeszültség analitikai képletét e határokon belül a 45. pontban kifejtett módon állapíthatjuk meg, miért is a 24. képletet e határokon belül megfelelően itt is alkalmazhatjuk:

$$q_1 = q_{a(\lambda)} + \frac{q_e - q_{a(\lambda)}}{\sqrt{\lambda_e}} \sqrt{\lambda_1}, \text{ avagy } q_1 = q_{a(\varepsilon)} + \frac{q_e - q_{a(\varepsilon)}}{\sqrt{\varepsilon_e}} \sqrt{\varepsilon_1}. \quad (31.)$$

Ha pedig a q_a -tól q_{max} -ig terjedő határokig érvényes képletre van szükségünk, az ellipszis egyenletét használjuk, de q_a értékét ez esetben is a 30. képlettel számítjuk ki, tehát $q_a = q_{a(\lambda)}$. Az ellipszis képlete a következő:

$$(y - y_0)^2 = 2 \frac{b^2}{a} x - \frac{b^2}{a^2} x^2$$

s ha figyelembe vesszük, hogy:

$y = q_1$, $y_0 = q_a$; $b = q_{max} - q_a$, $x = \lambda_1$, vagy $x = \varepsilon_1$ és $a = \lambda_{max}$ vagy ε_{max} , akkor az ellipszis képletéből következik, hogy:

$$q_1 = q_a + b \sqrt{2 \frac{\lambda_1}{a} - \left(\frac{\lambda_1}{a} \right)^2},$$

$$\text{vagy pedig } q_1 = q_a + (q_{max} - q_a) \sqrt{2 \frac{\lambda_1}{\lambda_{max}} - \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_{max}} \right)^2};$$

$$\text{rendezve: } q_1 = q_a + \frac{q_{max} - q_a}{\lambda_{max}} \sqrt{2 \lambda_1 \lambda_{max} - \lambda_1^2}. \quad (32.)$$

51. Az eddigiekben feltételeztük, hogy a próbadarab méreteinek viszonya:

$$\delta > 0,5 d \operatorname{tg} \beta.$$

A következőkben azt az erőtöbbletet fogjuk kiszámítani, amely az ily próbatest alakításához szükséges, ha:

$$\delta < 0,5 d \operatorname{tg} \beta.$$

A 47. pontban kifejtettük, hogy az ilyen méretű próbadarab egyenletesen elosztott erővel nem alakítható, mert az $a c_1 = b e_1 = \delta \operatorname{ctg} \beta$ (l. a 16. V. ábrát) széles sáv alakulásának a $(d - 2 \delta \operatorname{ctg} \beta)^2 \frac{3,14}{4}$ nagyságú felület útját állja, erre tehát további terhelés adandó. Az újabb terhelés következtében most már egy további $\delta \operatorname{ctg} \beta$ széles gyűrű mozdulhatna el, ha a $(d - 4 \delta \operatorname{ctg} \beta)^2 \frac{3,14}{4}$ darab nem állná útját. Az elmozdulás megvalósítása céljából tehát ez utóbbi keresztmetszetre még további terhelés adandó. Így járunk el mindaddig, míg végre az egész keresztmetszet elmozdulhat. Ha minden további terhelés felületegységenként ugyancsak q_1 fajlagos erőt szük-

ségelne, akkor az összes nyomóerő, amely az egyes terhelések összege, a következő képlettel fejezhető ki:

$$Q_1 = \frac{d_1^2 3,14}{4} q_1 + \frac{(d_1 - 2 \delta_1 \operatorname{ctg} \beta)^2 3,14}{4} q_1 + \frac{(d_1 - 4 \delta_1 \operatorname{ctg} \beta)^2 3,14}{4} q_1 \dots (33.)$$

Jelöljük a terhelések rétegeinek számát n -nel:

$$n = \frac{d_1}{2 \delta_1 \operatorname{ctg} \beta}. \quad (34.)$$

Ezt a kifejezést, valamint a $\frac{d_1^2 3,14}{4} = \Delta_1$ jelzést az erő képletébe téve, kapjuk:

$$Q_1 = \Delta_1 q_1 \left[1 + \left(\frac{n-1}{n} \right)^2 + \left(\frac{n-2}{n} \right)^2 \dots + \frac{[n - (n-1)]^2}{n} \right] \quad (33/a.)$$

A zárójelbe foglalt mennyiségeket z -vel jelölve:

$$\begin{aligned} z &= 1 + \left(\frac{n-1}{n} \right)^2 + \left(\frac{n-2}{n} \right)^2 \dots + \left(\frac{n-(n-1)}{n} \right)^2 \\ &= \frac{n^2 + (n-1)^2 + (n-2)^2 \dots + 1}{n^2} \end{aligned} \quad (35.)$$

Ezt azonban így is írhatjuk:

$$z = \frac{1^2 + 2^2 + 3^2 \dots n^2}{n^2} = \frac{1}{n^2} \frac{n(n+1)(2n+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3}.$$

Kellőleg rövidítve:

$$z = \frac{(n+1)(2n+1)}{6n}. \quad (35/a.)$$

Ámde a z tényezőnek ez az értéke a 33/a. képlettel kifejezett nyomóerő képletét annyira befolyásolja, hogy az e képlettel számított érték — az alumínium kivételével — valamennyi fém esetén a kísérleti értéknél jóval magasabb.

Teljesen megegyező értékeket akkor kapunk, ha a 35/a. képlettel kifejezett számsornak gyökét vesszük, azaz, ha a 33/a. képletbe a zárójeles kifejezés helyett a következőt tesszük:

$$z_1 = \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n}}. \quad (36.)$$

Hogy z -nek csak gyöke veendő figyelembe, annyit jelent, hogy több terhelési réteg alkalmazása esetén minden további terhelés az előző terhelésnél kisebb fajlagos erőt igényel.

Ezeket figyelembe véve, a 33/a. képlettel kifejezett nyomóerő képletét a következően írhatjuk:

$$Q_1 = \Delta_1 q_1 z_1. \quad 37.$$

I. táblázat.

Az anyag megnevezése : 491. sz. folyasztott vas.														
Jellemző adatai : $\lambda_e = 0,22$, $p_e = 44$, $q_e = 60$, $tg^2 \beta = 1,36$, $tg \beta = 1,165$														
A próba- darab mérete	Kísérleti eredmények					A próba- darab mérete	Kísérleti és számítási eredmények							
	λ_1	d_1	ϑ_1	Q_1	q_1		λ_1	d_1	ϑ_1	n	z_1	Q_1	$q_1 z_1$	$q_1 = \frac{q_1 z_1}{z_1}$
$d_o = 8,0 \text{ mm}$, $\vartheta_o = 20,03 \text{ mm}$	0	8,00	20,03	1328	26,3	$d_o = 8,02 \text{ mm}$, $\vartheta_o = 4,60$	0	8,02	4,6	1,015	1,00	1070	21,2	21,2
	0,1	8,8	16,54	3100	51		0,1	8,83	3,8	1,35	1,035	3200	52,4	50,6
	0,2	9,6	13,9	4255	58,8		0,2	9,63	3,2	1,76	1,086	4650	64,0	58,9
	0,3	10,4	11,85	5420	63,7		0,3	10,42	2,72	2,24	1,148	6235	73,0	63,6
	0,4	11,2	10,2	6550	66,3		0,4	11,23	2,35	2,78	1,22	7900	79,8	65,4
	0,47	11,76	9,3	7330	67,5		0,47	11,8	2,12	3,24	1,276	9200	84,0	65,8

II. táblázat.

Az anyag megnevezése : 492. sz. folyasztott vas. Jellemző adatai : $\lambda_e = 0,188$; $p_e = 53,9$; $q_e = 64,4$; $tg^2 \beta = 1,2$; $tg \beta = 1,095$.									
A próba- darab méretei	Kísérleti s számítási eredmények								
	λ_1	d_1 mm	ϑ_1 mm	n	z_1	Q_1 kg	q_1 kg/mm ²	$q_1 z_1$ kg/mm ³	$\frac{q_1 z_1}{z_1}$ kg/mm ³
$d = 8,04 \text{ mm}$; $\vartheta = 20,02 \text{ mm}$	0	8,04	20,02	—	—	1500	29,6	—	—
	0,1	8,85	16,54	—	—	3550	57,8	—	—
	0,2	9,65	13,90	—	—	4760	65,1	—	—
	0,3	10,45	11,85	—	—	5925	69	—	—
	0,4	11,26	10,11	—	—	7060	71	—	—
	0,5	12,06	8,9	—	—	8340	73,2	—	—
	0,6	12,87	7,82	—	—	9880	76	—	—
	0,7	13,67	6,93	1,08	1,012	11600	—	79	78
	0,8	14,47	6,18	1,28	1,028	13300	—	80,8	78,6
	0,9	15,29	5,54	1,51	1,054	15100	—	82,5	78,2
	1,0	16,08	5,00	1,77	1,088	17200	—	84,8	78

$$q_{max} = 78 \text{ és } \lambda_{max} = 0,70.$$

E képletből következik, hogy a megváltozott keresztmetszet egy-ségére eső külső erő, a $\Delta_1 \frac{Q_1}{\Delta_1} = q_1 z_1$ érték, a z_1 tényező hatása következtében rohamosan nő, miért is a feszültség ábrájának z_1 által befolyásolt része homorúvá válik. Minthogy a z_1 értéket a 36. képlettel megállapíthatjuk, a kötöttség által befolyásolt fajlagos erőből a z_1 -gyel való osztással a feszültséget is meghatározhatjuk. Ebben az esetben a feszültség képlete:

$$q_1 = \frac{Q_1}{\Delta_1} \cdot \frac{1}{z_1} = \frac{q_1 z_1}{z_1}. \quad (38.)$$

Ezzel az eljárással módunkban áll a 36. és 34. képletek helyességét is ellenőrizni. E célból ugyanabból az anyagból kétféle magasságú, de egyforma átmérőjű próbadarabot készítünk. Az egyiknek magassága az átmérő kétszerese is lehet, a másiknak magassága azonban pontosan $0,5 d \operatorname{tg} \beta$ legyen. Mindkét kísérlet adataiból kiszámítjuk a fajlagos erőket, a kurta darab értékeit azonban még a megfelelő z_1 értékkel elosztjuk. Kísérleteink és számításaink adatait az I. táblázatba foglaltuk, amelyből kitűnik, hogy a feszültségek számértékei mindkét esetben azonosak, ez pedig a z_1 képletének helyességét igazolja.*)

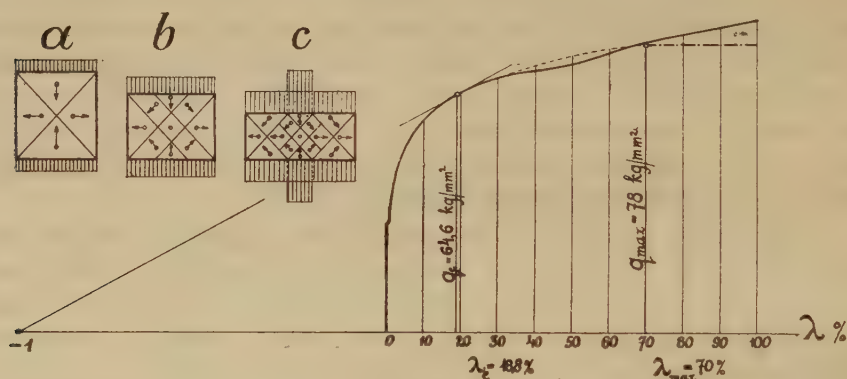
A 38. képlet segítségével módunkban áll a feszültség további változását, tehát a q_{max} értéket is meghatározni. Rendes nyomás esetén ugyanis a nagyobb mértékű összenyomásnál már a z_1 érték is érvényesül, de ha az előbbiek szerint a fajlagos erő értékét a z_1 -gyel elosztjuk, a feszültséget kapjuk.

Ezt az eljárást követtük a II. táblázatban közölt feszültségek kiszámításánál. A próbadarab magassága $2,5 d$ volt s ezt nyomással $1/4$ részre csökkentettük. A táblázat szerint $\lambda_1 = 0,70$ -nél kezdett érvényesülni a z_1 tényező. Eddig a határig tehát az erő fajlagos értékei a feszültséget adják, e határt túllépő összenyomásnál pedig a $q_1 z_1$ szorzatot, ezért ez utóbbiakat z_1 -gyel osztottuk. A táblázat szerint a feszültségek egy bizonyos határtól, ez esetben $\lambda_1 = 0,80$ -tól kezdve állandók, jelöljük annak, hogy a feszültség ellipszis alakú részét már elértük. Minthogy az ellipszis vízszintes érintőjének ordinátája a q_{max} -ot, első érintőjének abszcisszája pedig λ_{max} -ot adja, így ezzel az eljárással módunkban áll az anyagok e jellemző értékét meghatározni.

Az áttekinthetőség kedvéért a feszültségekből és a hozzájuk tartozó százalékos méretnövelésekből megszerkesztettük a teljes feszültségi ábrát,

*) Az elméleti mechanikai technológia néhány alaptétele című munkánkban a z_1 -re más alakú képletet közöltünk ugyan, de mert annak levezetésénél is ugyanazokból az elvekből indultunk ki, mint most, mindkét képlet teljesen azonos számértéket eredményez.

a melyet a 18. ábra szemléltet. Ez ábrából kitűnik, hogy a feszültség vonala egy darabon nem követi a másodfokú görbe jellegét, hanem behorpadt. Ennek oka a következő: Minthogy addig, amíg $\delta_1 > d_1 \operatorname{tg} \beta$, a szerszám alatt levő, a szerszámmal együtt haladó részek a méretnövelésben nem vesznek részt (l. a 18. ábra *a* rajzát), s mert a többi elmozduló rész orientálódását folytatja, ezért a feszültség a $\delta_1 = d_1 \operatorname{tg} \beta$ határig az orientálódás arányában nő, de amint $\delta_1 < d_1 \operatorname{tg} \beta$ és $\delta_1 > 0,5 d_1 \operatorname{tg} \beta$ (l. a 18. ábra *b* rajzát), a szerszám alatt lévő, eddig méretnövelésben részt nem vett részeknek folyton növekedő száma kénytelen a méretnövelésben részt venni és mert e részek folyási határa, minthogy eddig még nem orientálódtak, kisebb, mint a már orientáltaké, ezért nem nőhet az átlagos feszültség oly mértékben, mint eddig, de amint $\delta_1 < 0,5 d_1 \operatorname{tg} \beta$, (l. a 18. ábra *c* rajzát) ismét csak olyan



18. ábra.

Grafikai eljárás $q_{\max}$ és $\lambda_{\max}$ értékeinek meghatározására.

részek mozdulnak el, amelyek orientálódásukat folytatják, ezért a feszültség ismét egyedül az orientálódás törvényszerűségét követi. A mi példánkban a behorpadás $\lambda_1 = 0,40$ -nél kezdődik és $\lambda_1 = 0,65$ -nél végződik, tehát pontosan az előbb megjelölt két határnál.

52. Vékony darabok nyomásánál a most ismertetett jelenségek kenőrétegek s. alátétlemezek esetén is érvényesülnek. Kenőszereket a nyomott testek egyenletes alakváltozásának fokozása céljából is szokás használni. Kenőszer nélkül ugyanis a hengeres próbadarab hordóalakú lesz, amint ezt a 16. ábra VII. képe mutatja. Hogy a kenőszerek hatását és a kenés leghelyesebb módját felismerhessük, a nyomó s. a nyomott felület viszonylagos mozgását kell megfigyelnünk. Az 51. pontban hangsúlyoztuk, hogy mindaddig, amíg $\delta \equiv d \operatorname{tg} \beta$, a szerszám és a tárgy között csak a rugalmas megnyúlásban lévő különbség okoz mozgást. Fémeknél ez a különbség igen csekély, ezért a tárgynak a nyomólapokkal érintkező részét nem kell kenni, hanem csak a szerszámnak a

próbatesttől be nem fedett részét, hogy az alakváltozáskor odajutó anyag elmozdulásának akadályait csökkentjük. Így kenve a nyomószerszámot, a próbatest kevésbé hordó alakú, de ha a nyomott felületet is kenjük, homorúvá válik, amint ezt a 16. ábra X. képe mutatja. Ennek oka az, hogy a kenőanyag vékony rétege a tárgy s a szerszám között lévő vékony próbatestnek tekintendő, amely nem alakulhat a keménységének megfelelő feszültség hatása folytán (l. az 51. pontot), hanem csak z_1 -szer nagyobb feszültség alatt. Ha már most ez a $z_1 \cdot q'_1$ kisebb a nyomandó tárgy folyáshatáránál (a q_f -nél), akkor a tárgy méretváltozása a kenőszer elmozdulása következtében nőni fog és így a próbatest homorú lesz.

Rideg anyagok (kövek) nyomásánál ez a jelenség akkor is előfordul, ha a próbadarab felületére a tökéletesebb megfekvés biztosítása céljából alátétlemezként vékony ólomlapot teszünk. Az ólom rendes körülmények között akkor mozdul el, ha a fajlagos nyomóerő q_{pb} értékét eléri, az ólomlemez azonban csak akkor, ha ez $z_1 q_{pb}$ értéket éri el. Ha a kő lágy homokkő, melynek rugalmassági határa kisebb $q_{pb} z_1$ -nél, a tárgy eltörik, mielőtt az ólom megmozdult volna. Ebben az esetben az alátét tökéletesebb megfekvés szempontjából kedvező hatást fejtett ki. De ha a kő kemény, vagyis ha rugalmassági határa q_f nagyobb az ólom $q_{pb} z_1$ értékénél, akkor a nyomófelületek mentén az ólom erősen mozog s ez a mozgás okozta súrlódás fokozza a szemcsék közötti húzófeszültséget, miért is a kemény kő, ha ólmot teszünk alája, lényegesen kisebb erő alatt törik, mint anélkül. Ilyenkor tehát az ólomalátét alkalmazása káros.

53. Az eddigiekben a körkeresztmetszetű próbatestekkel foglalkoztunk, a következőkben a négyszögkeresztmetszetűekre térünk át.

Négyszögkeresztmetszetű próbadarabok esetén két fősíkot kell figyelembe vennünk. Ha mindkét fősíkban a méretek viszonya az egyenletes erőelosztás követelményeinek felel meg, a körkeresztmetszetre levezetett nyomóerő képlete, valamint a feszültség analitikai képlete itt is alkalmazható. De ha valamelyik fősíkban az egyik méret kisebb a másik méret felénél, vagyis ha $\delta < 0,5 h \cdot \operatorname{tg} \beta$, vagy ha $\delta < 0,5 b \operatorname{tg} \beta$, akkor külön-külön számítjuk ki a két fősíkban ébredő z_1 értékeket s szorzatuk gyökét vesszük föl tényezőnek. Az erő képlete ekkor ez lesz:

$$Q_1 = \Delta_1 q_1 \sqrt{z_b \cdot z_h} \quad (39.)$$

β) A szívósság mérőszáma.

54. A szívósság lényegét a 17. pontban már részletesen ismertettük. Az ott elmondottak alapján tudjuk, hogy a szívósság a kristályos anyagok alakíthatóságának az a faja, amelynél a feszültség az alakváltozás következtében folyton nő.

Minthogy a feszültségnek a méretváltozás szerinti növekedését a feszültségi ábra jelzi, ezért a szívósság mérőszámául a feszültségi ábra

területének méterkilogramm pro cm^3 -ben kifejezett számértékét fogadjuk el, még pedig a húzásra való tekintettel ennek az egyenletes nyúlás határáig terjedő részét s ezt m_e -vel fogjuk jelölni.

E terület nagyságát analitikai úton a következő módon kapjuk: Kifejezzük a munka differenciális értékét; ez a 14./III. ábra szerint:

$$d m_e = p_x d x,$$

de mert a 24. képlet szerint

$$p_x = p_a + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \sqrt{\lambda_x}$$

és mert $\lambda_x = x$, tehát $d \lambda_x = d x$.

Ebből az következik, hogy

$$m_e = p_a \int_0^{\lambda_e} d \lambda_x + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \int_0^{\lambda_e} \lambda_x^{1/2} d \lambda_x.$$

Az integrálás után

$$m_e = p_a \lambda_e + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \frac{2}{3} \lambda_e^{3/2},$$

az egyenletet kellőleg rendezve:

$$m_e = [0,333 p_a + 0,667 p_e] \lambda_e. \quad (40.)$$

Nyomás esetén a feszültségi ábra ugyanezen határig (vagyis a —1-ből húzott érintő első érintési pontjáig) teljesen azonos képlettel fejezhető ki, csak p helyébe teendő q . Ennélfogva:

$$m_{e \text{ ny}} = [0,333 q_a + 0,667 q_e] \lambda_e. \quad (40. a.)$$

Hogy m_e értékét mkg. cm^3 -ben kifejezhessük, a feszültséget kg -ban pro mm^2 -re fejezzük ki. Hogy a törtszámokat mellőzzük, az anyag jellemzésére rendszerint nem az m_e , hanem 1000 m_e értékét adjuk.

Megjegyezzük még, hogy amennyiben nyomás esetén a teljes szívósság érvényesül, a feszültségi ábra teljes területének, vagyis a $q_{\max}$ és $\lambda_{\max}$ határokig terjedő részének ismerete is kívánatos. Ezt $m_{\lambda_{\max}}$ -mal fogjuk jelölni s számértékét a legegyszerűbben úgy kapjuk, ha az ábra területét két részre osztjuk, t. i. (l. a 17./II. ábrát) $q_a \cdot \lambda_{\max}$ négyszögre és oly negyed ellipszisére, amelynek tengelyei: $a = \lambda_{\max}$ és $b = q_{\max} - q_a$. Az egész feszültségi ábra területe tehát:

$$m_{\lambda_{\max}} = q_a \cdot \lambda_{\max} + \frac{1}{4} a b \pi = q_a \lambda_{\max} + \frac{3,14}{4} \lambda_{\max} (q_{\max} - q_a);$$

kellőleg rendezve:

$$m_{\lambda_{\max}} = [0,215 q_a + 0,785 q_{\max}] \cdot \lambda_{\max}. \quad (41.)$$

Ép oly képlettel fejezhető ki annak a feszültségi ábrának a területe, amely a feszültséget ε függvényében ábrázolja, vagyis:

$$m_{\varepsilon_{\max}} = [0,215 q_a + 0,785 q_{\max}] \varepsilon_{\max}. \quad (41/a.)$$

55. Annak igazolására, hogy húzás és nyomás esetén az egyenletes nyúlás határáig terjedő alakváltozások végzéséhez a külső munka tényleg az anyag szívóssági mérőszámától függ, az alábbiakban a húzó- és nyomóerő munkáját is kiszámítjuk.

A munka differenciális értéke (l. a 14/II. ábrát):

$$dM_h = P_x ds_x;$$

de most a 19. képlet szerint: $P_x = \Delta_0 \frac{p_x}{1 + \lambda_x},$

a 24. képlet szerint: $p_x = p_a + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \sqrt{\lambda_x},$

a 17. képlet szerint pedig: $s_x = h_0 \lambda_x,$ tehát $ds_x = h_0 d\lambda_x,$

így tehát
$$M_h = \Delta_0 h_0 \left[p_a \int_0^{\lambda_e} \frac{d\lambda_x}{1 + \lambda_x} + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \int_0^{\lambda_e} \frac{\lambda_x^{1,2}}{1 + \lambda_x} d\lambda_x \right].$$

De mert
$$\int_0^{\lambda_e} \frac{d\lambda_x}{1 + \lambda_x} = \left[\ln(1 + \lambda_x) \right]_0^{\lambda_e}$$

és mert a második integrál, ha ebbe $\lambda_x^{1/2} = y$ és $d\lambda_x = 2y dy$ helyettesítjük, a következő alakot nyeri:

$$\int_0^{\lambda_e^{1,2}} \frac{\lambda_x^{1,2}}{1 + \lambda_x} d\lambda_x = 2 \int_0^y \frac{y^2 dy}{1 + y^2} = 2 \int_0^y \frac{y^2 + 1 - 1}{1 + y^2} dy = 2 \left[\int_0^y dy - \int_0^y \frac{dy}{1 + y^2} \right],$$

azért, ha az integrálás után y -nak λ_x -ban kifejezett értékét tesszük:

$$M_h = \Delta_0 h_0 \left[p_a \ln(1 + \lambda_e) + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} 2 (\sqrt{\lambda_e} - \arctg \sqrt{\lambda_e}) \right]. \quad (42.)$$

Minthogy pedig fémeknél, de különösen vasfajoknál $\lambda_e < 0,4$, a 42. képletbe a következő kifejezések helyettesíthetők:

$$\ln(1 + \lambda_e) = \lambda_e - \frac{\lambda_e^2}{2} \text{ és } \arctg \sqrt{\lambda_e} = \sqrt{\lambda_e} - \frac{1}{3} \sqrt{\lambda_e^3}.$$

Ezt elvégezve:

$$M_h = \Delta_0 h_0 \left[p_a \left(\lambda_e - \frac{\lambda_e^2}{2} \right) + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \frac{2}{3} \sqrt{\lambda_e^3} \right].$$

Kellőleg rendezve:

$$M_h = \Delta_0 h_0 [(0,333 p_a + 0,667 p_e) \lambda_e - 0,5 p_a \lambda_e^2],$$

ámde a zárójelben levő mennyiség első tagja a 41. képlettel kifejezett m_e -vel egyenlő, így tehát képletünk:

$$M_h = \Delta_0 h_0 (m_e - 0,5 p_a \lambda_e^2). \quad (42/a.)$$

Nyomás esetén a külső munka:

$$dM_{ny} = Q_x ds_x;$$

de mert a 28. képlet szerint:

$$Q_x = \Delta_0 (1 + \lambda_x)^2 q_x,$$

a 31. képlet szerint:

$$q_x = q_a + \frac{q_e - q_a}{\sqrt{\lambda_e}} \sqrt{\lambda_x}$$

és a 48. pont szerint:

$$s_x = \delta - \delta_x, \text{ tehát } ds_x = -d\delta_x$$

és mert

$$\delta_x = \frac{\delta_0}{(1 + \lambda_x)^2}, \text{ így } ds_x = \frac{2\delta_0}{(1 + \lambda_x)^3} d\lambda_x,$$

ennélfogva:

$$M_{ny} = 2\Delta_0 \delta_0 \left[q_a \int_0^{\lambda_e} \frac{d\lambda_x}{1 + \lambda_x} + \frac{q_e - q_a}{\sqrt{\lambda_e}} \int_0^{\lambda_e} \frac{\sqrt{\lambda_x}}{1 + \lambda_x} d\lambda_x \right].$$

Az integrálok azonosak, mint húzás esetén, miért is:

$$M_{ny} = 2\Delta_0 \delta_0 \left[q_a \ln(1 + \lambda_e) + \frac{q_e - q_a}{\sqrt{\lambda_e}} \cdot 2(\sqrt{\lambda_e} - \arctg \sqrt{\lambda_e}) \right]; \quad (43.)$$

a $\ln$ és $\arctg$ kifejezéseket sorba fejtve:

$$M_{ny} = 2\Delta_0 \delta_0 [(0,333 q_a + 0,667 q_e) \lambda_e - 0,5 q_a \lambda_e^2],$$

vagy:

$$M_{ny} = 2\Delta_0 \delta [m_{eny} - 0,5 \cdot q_a \lambda_e^2]. \quad (43/a.)$$

A 42/a. és 43/a. képletekből kitűnik, hogy a külső erő munkája tényleg a szívóosság számértékétől függ.

Megjegyezzük itt, hogy a szívóosság számértéke azért nagyobb a külső erő munkájánál, mert annak kiszámításánál a keresztmetszetet folyton egységnyinek, tehát állandónak vettük, holott a külső munka kifejtésekor ez a nyúlás arányában folyton csökken.

56. Az előző pontban levezetett munkaképletek (42/a és 43'a) szerint azonos anyag esetén a külső erő munkája a köbtartalommal, az erő pedig a keresztmetszettel arányos. Ez az arányosság azonban csak akkor van meg, ha a 40. és a 47. pontokban kifejtett feltételeknek eleget teszünk, vagyis ha az elmozdulások hálózatai azonosak. Ez pedig csak úgy lehetséges, ha *a fősíkok méreteinek viszonya teljesen azonos.*

Ha a fősík oldaléleinek, azaz a hosszúságoknak viszonyát a -val jelöljük, $\frac{h'}{h} = a$, akkor a keresztmetszetek viszonya a^2 , azaz $\frac{\Delta'}{\Delta} = a^2$ és a köbtartalomnak viszonya a^3 , azaz $\frac{K'}{K} = a^3$. Az ilyen testeket *arányos testeknek* szokás nevezni. Ezekre vonatkozólag az előbb elmondottak alapján a következő képleteket írhatjuk:

$$\left. \begin{aligned} M' : M &= a^3 : 1 = K' : K \\ P' : P &= a^2 : 1 = \Delta' : \Delta \\ Q' : Q &= a^2 : 1 = \Delta' : \Delta \\ s' : s &= a : 1 = h' : h \end{aligned} \right\} \quad (44.)$$

E képletsorozat szavakkal így fejezhető ki: *Arányos testek esetén a munka a viszonzyszám köbével, az erő a viszonzyszám négyzetével, a méretváltozások pedig a viszonzyszámmal arányosak.* Ez a törvény mindenféle alakítási módokra alkalmazható és azt *arányossági törvénynek*, vagy KICK-féle *proporcionalitás-törvénynek* nevezzük.

A szívósság mérőszámát ismerve, az anyagok alakíthatóságának második fajára, a képlékenységre térünk át.

c) A képlékenység mérőszáma.

57. A képlékenység az alakíthatóságnak az a faja, amelynél az elmozdulások szabályos hálózata esetén a *feszültség állandó.*

Amorf anyagokra, pl. viaszra, agyagra, stb.-re vonatkozólag azt a tényt KICK a következő kísérlettel igazolta: Hengeres nyomólapok körül lazán vékony lemezből készült gyűrűt helyezett el, a nyomólapok közé pedig elapok felületével azonos keresztmetszetű hengeres próbadarabokat tett. Minthogy nyomás következtében a próbadarabok átmérője nő, vagyis az anyag a nyomólapokon túl is elhelyezkedik, azért ezt a túlérő anyag-többletet a lemezgyűrűvel vágta le; ezzel elérte, hogy a tárgy felülete a kísérlet lefolyása közben állandó maradt, amiből következik, hogy addig a határig, amíg a próbadarab magassága az átmérő értékénél kisebb nem lett, a feszültség állandó, ezután kis mértékben csökken s végre erősen nő.

Fémeknél a feszültség állandósága már a nyomófeszültségek ábrájából is kitűnik, mert ez — amint már kimutattuk — a negyed ellipszis érintője irányában folytatódik, feltéve, hogy a próbadarab méretei olyanok, hogy a z_1 tényező értéke érvényre nem jut.

Minthogy a képlékeny alakváltozásnál a feszültség állandó, a képlékenység nem lehet sem a fajlagos méretváltozásnak, sem a feszültségi ábra területének függvénye. Mérőszámául tehát ez értékek nem használhatók. A 23. pontban kifejtettek közül azonban tudjuk, hogy szívós anyagok képlékeny alakváltozása csak akkor lehetséges, ha a szemcse közötti kohézió (π_1) nagyobb, mint a méretnövelés irányában ébredő az a feszültség, amely húzás esetén az egyenletes nyúlás határánál észlelhető (p_c). Ennélfogva szükséges, hogy $(\pi_1 - p_c) > 0$ és ez az egyenlőtlenség képezi a képlékenység egyik szükséges feltételét. Mihelyt e feltételnek eleget teszünk,*) az elmozdulások szabályos hálózatával bíró test, lassú erőhatásokkal, tág határok közt alakítható. Az alakítás a $(\pi_1 - p_c)$ számértékének nagyságától független ugyan, de az 51. pontban kifejtettek szerint a szerszám és a tárgy között végbemenő surlódástól, valamint az elemi csoportok nagyságától függ. Addig ugyanis, amíg a tárgy vastagsága három mag méreténél nagyobb, a szerszám lapjához surlódó magvak alatt még kettőnél több oly mag van, amelynek csoportjait a külső surlódás nem befolyásolja. De mihelyt a vastagság e határ alá száll (l. a 16 VI. ábrát), az elmozduló anyagrészek között a feszültség a surlódás következtében folyton nő és amint eléri a kohézió értékét, a magvak vagy a szemcsék elválása áll be. *Képlékeny anyagok nyújthatóságának határát tehát a magvak, illetőleg az elemi csoportok méretei állapítják meg.*

58. Az előző pontban feltételeztük, hogy az elmozdulások irányvonalainak hálózata mindig szabályos, vagyis, hogy az erőhatás alatt álló tárgy mindig szabályos henger- vagy hasábalakú. Ámde a nyomott henger rendszerint hordóalakúvá (l. a 16/VII. ábrát) válik s így anyagának egy része a szabályos erőhálózaton kívül esik, tehát az elmozdulást gátolja.

A gátló anyagok hatásával a 33. pontban már foglalkoztunk. Ott arra az eredményre jutottunk, hogy ezek hatása azonos a többirányú húzóerők hatásával. S mert többirányú húzóerőkkel a molekuláris ritkítást addig fokozhatjuk, amíg azt a π_1 kohézió ellensúlyozhatja, ezért a gátlás annál nagyobb lehet, minél nagyobb a π_1 kohézió. Ámde a gátlás nagysága nemcsak az anyag mennyiségétől, hanem annak minőségétől is függ. Feltéve ugyanis, hogy az anyag húzószívósságát már elvesztette, elmozdítása ellen felületegységenként p_c ellenállást fejt ki. Ebből következik, hogy azonos nagyságú gátlás kifejtéséhez annál kisebb gátlóanyagmennyiség szükséges, minél nagyobb a p_c értéke. Minthogy pedig a gátlóanyag mennyisége az alakváltozás arányában nő, a gátlás létesítéséhez szükséges alakváltozás is annál kisebb, minél nagyobb p_c értéke; a képlékenység mérőszámául (k) tehát azt a viszonyt alkalmazzuk,

*) Nyomás esetén ennek úgy teszünk eleget, hogy a próbatestet, mihelyt hengeres alakját elvesztette, újból esztergáljuk, mert különben annál a gátlóanyagok következtében $\pi_1 - p_c < 0$ válik.

amely kifejezi, hogy a kohézió hány százalékkal nagyobb a legnagyobb húzókeménységnél:

$$k_{0/0} = \frac{\pi_1 - p_e}{p_e} \cdot 100 = \left(\frac{\pi_1}{p_e} - 1 \right) 100$$

vagy, ha csak viszonylagos nagyságát akarjuk e két számértéknek:

$$k = \frac{\pi_1}{p_e} - 1. \quad (45.)$$

59. A képlékenység mérőszámának fogalmát ismerve, számértékének kísérletekkel való megállapítására térünk át.

Húzással eddig a mérőszámnak csak egyik tényezőjét határoztuk meg, t. i. a p_e -t, ezt a legnagyobb húzókeménységnek neveztük. Foglalkozzunk már most a második tényezőnek, t. i. a π_1 szemcse közötti kohézió megállapításával.

Ha a szakadás pillanatában az egész keresztmetszet az erő irányára normális síkban szakad el, akkor a szakítófeszültség a szemcse közötti kohéziót adja. Ez a jelenség azonban csak rideg anyagok esetén, vagy a szívósságuk után rideggé vált anyagoknál fordul elő.

Képlékeny anyagok a kontrahált helyen a 14 VII. ábrán látható alakban szakadnak el. A szakadás a középső részben az erő irányára normális síkban megy ugyan végbe, szélei azonban tölcsérszerűek. Ebből a jelenségből arra következtethetünk, hogy a külső erő csak a középső részben győzte le a szemcseközötti kohéziót, a szélső részben pedig csak az ennél csekélyebb csúsztatási feszültséget. Ha az eltörött darab keresztmetszeteit összeillesztjük, észrevevessük, hogy a tölcsérszerű részek összeillenek ugyan, a sík részek között azonban űr van, ami arra vall, hogy a középső rész előbb szakadt el, a szélső rész pedig gyorsulva csúszott mindaddig, míg a szívós alakváltozás legnagyobb feszültségének (p_e) és a gyorsítást okozó feszültségnek ($m\gamma$) összege a szemcse közötti kohéziót elérte.

Világos tehát, hogy a szakadás pillanatában ható P_c erőnek a kontrahált Δ_c keresztmetszettel való osztásából eredő p_c szakító feszültség:

$\frac{P_c}{\Delta_c} = p_c$ kisebb, mint a szemcse közötti kohézió (π_1), vagyis $p_c < \pi_1$.

Ha tehát a 45. képletbe π_1 helyébe p_c -t tesszük, a nyert hányados kisebb lesz a képlékenység valódi értékénél, miért is a p_c -ből eredő viszonyt a képlékenység oly alsó határának tekinthetjük, amelynél annak valódi értéke okvetetlenül nagyobb. Jelöljük ezt az értéket $k_{min.}$ -mal s fejezzük ki az elmondottakat képlettel:

$$k > k_{min.} = \frac{p_c - p_e}{p_e}. \quad (45a.)$$

Húzóképlékenységi kísérletekből a szemcseközötti kohézió értékére a *Considère* eljárása útján is következtethetünk. *Considère* a kontrahálás folyama alatt időnként megállapította a terhelést s az akkor található legkisebb kereszt-

metszetet. E két számérték hányadosát, t. i. a feszültséget, ordinátaként vitte fel a 44. pontban ismertetett feszültségi ábrában (l. a 14/III. ábrát), abszcissza-értéknek pedig azt a képzelte megnyúlást vette, amely előállana, ha az egész rúd e legkisebb keresztmetszetre egyenletesen megnyúlna. A megnyúlás ez értékét $\frac{\Delta_0}{\Delta_c} = 1 + \lambda_c$ képlettel számítjuk ki. Ilyen eljárással nyerjük a 14/III. ábrának $h l_1$ vonalát, amelynek legnagyobb ordinátája azonban kisebb a szemcsék közötti kohézióé, vagyis: $m l_1 < \pi_1$ -nél. De ha az $m l_1$ helyett az érintőig terjedő $m l$ ordinátát vesszük, akkor talán π_1 -nél már nagyobb értéket veszünk számításba, ennél fogva ez úton a képlékenységre oly képzelte maximális értéket számítunk ki (k_{max}), amelyet az anyag tényleges képlékenységi száma túl nem lép:

$$k < k_{max} = \frac{m l - p_e}{p_e}.$$

Most még $m l$ -t kell ismert értékekkel kifejeznünk. E feladatot az $o_1 m l$ és $o_1 h k$ hasonló háromszögek segítségével oldjuk meg, ugyanis: $m l : h k = o_1 m : o_1 k$.

S mert
$$h k = p_e, o_1 m = 1 + \lambda_\Sigma = \frac{\Delta_0}{\Delta_c}$$

és
$$o_1 k = 1 + \lambda_e = \frac{\Delta_0}{\Delta_e},$$

ennél fogva
$$m l : p_e = (1 + \lambda_\Sigma) : (1 + \lambda_e),$$

vagy
$$m l : p_e = \frac{\Delta_0}{\Delta_c} : \frac{\Delta_0}{\Delta_e},$$

ebből
$$m l = p_e \frac{\Delta_e}{\Delta_c} = p_e \frac{1 + \lambda_\Sigma}{1 + \lambda_e}$$

s így
$$k < k_{max} = \frac{p_e \frac{\Delta_e}{\Delta_c} - p_e}{p_e} = \frac{\Delta_e}{\Delta_c} - 1,$$

vagy pedig
$$k < k_{max} = \frac{1 + \lambda_\Sigma}{1 + \lambda_e} - 1.$$

(45/b.)

60. Az előző pontban kifejtettek szerint húzással a képlékenység valódi értékét azért nem tudtuk meghatározni, mert rendes húzáskor a π_1 feszültség nem érvényesülhet az egész elszakadt keresztmetszetben. A 33. pontban kifejtettek szerint azonban gátló anyagokkal a húzófeszültséget π_1 -ig növelhetjük és ekkor módunkban áll a képlékenység valódi értékét is meghatározni. Hogy a gátló anyag elhelyezése módját és mennyiségét meghatározhassuk, vegyük figyelembe a nagyon kurta rudak húzásánál érvényesülő jelenségeket.

Húzás kifejtése céljából a húzott darab fejrészekkel látandó el. Ha a fejrészeket kurta rúdra a 14/VIII. ábrán jelzett módon alkalmazzuk, a *bemetszett* rudat kapjuk. Ilyenkor a tengelyirányú húzóerők következtében a bemetszett keresztmetszetben csak $a c_1 = h \operatorname{tg} \beta$ szélességű gyűrű anyaga mozdulhat el. A többi, t. i. a $c_1 e_1$ átmérőjű keresztmetszet anyaga — mert minden pontjára négyirányú csúsztató erő hat, amelyek két szemközt álló s egyensúlyban levő húzóerőt eredményeznek — mindaddig nem mozdulhat el, míg ebben a keresztmetszetben a fajlagos erő a kohézió értékét el nem éri. Feladatunk tehát abban áll, hogy a h hosszúságú rúdnak $a c_1 = h \operatorname{tg} \beta$ széles gyűrűjében a fajlagos erőt, amely rendes viszonyok között az elcsúsztatáshoz szükséges p_1 , de legfeljebb p_e értékű, π_1 -re növeljük. Ezt pedig akkor érjük el, ha gátló anyagok útján az eddigi húzóhatáson felül még további kétirányú húzóhatást fejtünk ki, mert háromirányú húzással a kohézió mindenkor legyőzhető.

A szükséges gátló erő teljes értéke $\mathfrak{G}$, ennél fogva egyenlő az $a c_1$ gyűrű felületével, szorozva a felületegységre gyakorlandó $(\pi_1 - p_1)$ gátlással. Képlettel ezt a következőképen fejezhetjük ki:

$$\mathfrak{G} = (\pi_1 - p_1) \Delta_b \left[1 - \left(1 - \frac{2 h \operatorname{tg} \beta}{d_b} \right)^2 \right],$$

ha ugyanis az $a b = d_b$ átmérőjű körkeresztmetszetet Δ_b -vel jelöljük.

E gátlást annak a gyűrűnek anyaga okozza, amelynek felülete: $\Delta_1 - \Delta_b$ s mert a 33. pontban kifejtettek szerint a gátlás hatása $\sin(\psi - \beta)$ -val változik és mert a gátlás felületegységenként nagyobb húzóhatást nem fejthet ki, mint amekkora az a p_1 feszültség, amelynél az anyag már elmozdulni kénytelen, azért a gátlást így is kifejezhetjük:

$$\mathfrak{G} = \varepsilon (\Delta_1 - \Delta_b) \sin(\psi - \beta) p_1.$$

A $\mathfrak{G}$ -re vonatkozó két egyenletből következik, hogy:

$$(\pi_1 - p_1) \Delta_b \left[1 - \left(1 - \frac{2 h \operatorname{tg} \beta}{d_b} \right)^2 \right] = \varepsilon \sin(\psi - \beta) (\Delta_1 - \Delta_b) p_1.$$

Adott kohézió esetén tehát a berepedésnek általános kifejezéseként írhatjuk:

$$\frac{\pi_1 - p_1}{p_1} = \frac{\Delta_1 - \Delta_b}{\Delta_b} \frac{\varepsilon \sin(\psi - \beta)}{1 - \left(1 - \frac{2 h \operatorname{tg} \beta}{d_b} \right)^2}. \quad (46.)$$

Ebből már most következik, hogy a berepedés előidézéséhez szükséges anyagtöbblet annál kisebb, minél nagyobb a p_1 értéke.

Hogy azonban a 46. képlettel a képlékenységet kifejezhessük, a p_1

értékét p_e -re kell növelnünk, amit a bemetszendő rúdnak előzetes elszakításával érhetünk el. Ekkor képletünk alakja így módosul:

$$\frac{\pi_1 - p_e}{p_e} = k = \frac{\Delta_e - \Delta_b}{\Delta_b} \cdot \frac{\sin(\psi - \beta)}{1 - \left(1 - \frac{2h \operatorname{tg} \beta}{d_b}\right)^2} \varepsilon. \quad (46/a.)$$

A bemetszést azonban gyakorlati nehézségek miatt $\frac{d_e}{2} = d_b$ -nél mélyebbre nem eszközölhetjük, ennél fogva $\frac{\Delta_e}{\Delta_b} = 4$ -nél nagyobb nem is lehet s mert a bemetszést végző forgácsoló szerszámot 0,5 milliméternél vékonyabbra nem készíthetjük, a rés (h) minimális értéke 0,5 mm lesz, vagyis $h = 0,5$. Hogy az $a c_1$ gyűrű kisméretű legyen, arról gondoskodunk, hogy a $\frac{h}{d_b}$ viszony 0,1-nél kisebb legyen, vagyis $\frac{h}{d_b} < 0,1$. A bemetszés oldalfalait a tengelyirányra lehetőleg merőlegesen helyezzük el, hogy $\psi \nrightarrow$ megközelítse a 90° -ot. Ezt a feladatot csak 0,5 mm vastag körfűrész-pengével oldhatjuk meg s mert a fűrészelt felület sohasem síma, befűrészelés után a rés esztergakéssel simítandó. Ilyen viszonyok között — vagyis ha arról gondoskodunk, hogy a bemetszéshez már elszakított, azaz szívósságától megfosztott rudat használjunk, a bemetszést merőleges falakkal az átmérő feléig eszközöljük, a bemetszett keresztmetszet ép részét teljesen szabályos körnek készítjük és arra figyelünk, hogy a rés szélessége az átmérőnek legfeljebb 0,1 része legyen, — a 46/a. képlet második tagjának értéke:

$$\frac{\sin(\psi - \beta)}{1 - \left(1 - \frac{2h \operatorname{tg} \beta}{d_b}\right)^2} = 1,5.$$

Arról, hogy a bemetszés e feltételeknek megfelel-e, 20-szoros nagyítású mikroszkóppal győződünk meg.

Hogy számításainkhoz a 46/a. képletet használhassuk, az ε tényező értékét is ismernünk kell. Ezt olyképp állapítjuk meg, hogy ugyanazon anyagból nagyobb számú próbatestet készítünk s ezeket elszakítás után különböző mélységig bemetszük. A bemetszett darabokat elszakítjuk, szakítás után pedig a bemetszés oldalfalát és törésfelületét megnézzük. Ha az oldalfalakon vagy a szakított keresztmetszet szélső gyűrűjében elmozdulást észlelünk, akkor ez a bemetszés elégtelenségére vall. De mihelyt az elmozdulás már nem vehető észre és a törés felülete egyformán szemcsés, úgy ez már azt igazolja, hogy a 46/a. képlettel jelzett szükséges gátlást elértük, miért is a szakítóerőből a π_1 számértékét, ennek segélyével pedig a képlekenységet is kiszámíthatjuk, t. i. $k = \frac{\pi_1 - p_e}{p_e}$. A képlekenység számértékének ismeretével pedig a 46/a. képletből kiszámíthatjuk az ε értékét. Kísérleteim szerint ennek a tényezőnek a számértéke:

$\varepsilon = 0,29$. Ennélfogva a 46/a. képlet második és harmadik tagjának szorzata: 0,44. Ez értéket alkalmazva, a berepedés feltét-egyenlete:

$$k = \frac{\Delta_e - \Delta_b}{\Delta_b} \cdot 0,44. \quad (46/b.)$$

E képlettel most már a bemetszési eljárás alkalmazásának határát is meghatározhatjuk. Abban az esetben ugyanis, ha $\frac{\Delta_e}{\Delta_b} = 4$, k legnagyobb értéke a 46/b. képlet szerint:

$$(4 - 1) \cdot 0,44 = 1,32.$$

Szabályként kimondhatjuk tehát, hogy bemetszett rudak szakításakor abban az esetben, amikor az anyag képlékenysége: $k \approx 1,32$, a fajlagos sza-

kító erő $\frac{P_b}{\Delta_b} = p_b$ a kohézió π_1 valódi értékét adja; miért is a képlékenység valódi értéke: $k = \frac{p_b - p_e}{p_e}$. Nagyobb képlékenységi fokkal bíró

anyagok képlékenységének meghatározásához más eljárásokat kell keresnünk.

Ámbár a bemetszési eljárással nyert képlékenységi számértéknek nagyobbak kell lennie a 45/a. képlettel kiszámított k_{min} értékénél, mégis gyakran előfordul, hogy a bemetszési eljárás értéke kisebb a k_{min} -mal jelzettnél. Ez a szabálytalanság csak akkor érvényesül, ha az anyag *hólyagos*, vagy *foszfidos* és *szulfidos*. A hólyagok ugyanis zérus-szilárdságúak; a záródmányok szilárdsága nagyobb ugyan zérusnál, de lényegesen kisebb a π_1 -nél, ezért a záródmányos keresztmetszet hordképessége lényegesen kisebb $\Delta_b \pi_1$ -nél. A záródmányok s a hólyagok a rendes szakítást csak akkor befolyásolják, ha a próbadarab felületén vannak. Ilyenkor a felület ezek mentén még a szívós alakváltozás folyama alatt felreped, a beljebb fekvő záródmányok azonban, annak dacára, hogy anyaguk rideg, igen jól alakulnak azért, mert minden oldalról be vannak ágyazva (l. a 35. pontban kifejtetteket).

61. Az alakíthatóság most ismertetett válfajának felismerése előtt az anyag nyújthatóságának jellemzésére a kontrakció számértékét használták, vagyis azt a viszonyt, amely az eredeti és az elszakadt keresztmetszetnek különbsége és az eredeti között fennáll. Ezt képlettel így fejezzük ki:

$$\varphi = \frac{\Delta_0 - \Delta_c}{\Delta_0} \quad (47.)$$

Ámde e viszonzszámban az alakíthatóságnak mind a két faja benne foglaltatik, t. i. a szívósság és a képlékenység. Ezek a tulajdonságok az I. kötet 145. pontjában kifejtettek szerint a következő összefüggésben állanak egymáshoz:

$$k = \frac{5}{4(1 - \varphi)(1 + \lambda_e) + 1} - 1. \quad (48.)$$

Ha már most ezt az egyenletet φ szerint oldjuk meg, akkor:

$$\varphi = 1 - \frac{4 - k}{4(1 + \lambda_e)(1 + k)}. \quad (48/a.)$$

δ) *A jellemző adatok meghatározása diagramm felrajzolása nélkül.*

62. A jellemző adatok meghatározására szolgáló eddig ismertetett eljárások, nevezetesen a jelző vonalnak nagyítóval való követése, valamint a rudak bemetszése igen gondos munkát igényel; tömeges vizsgálatoknál éppen ezért megelégszünk megközelítő eljárásokkal. Ilyen megközelítő eljárás pl. az, hogy a próbadarab helyes méreteinek megtartása mellett ($h_0 = 10 \sim 12 d_0$ és $b_0 = \delta_0$) a szabad hosszúságot cm-es beosztással látjuk el, a húzókísérletet diagramm felvétele nélkül végezzük s csak a legnagyobb erőt s kontraháláskor a szakadás pillanatában érvényre jutott erőt (P_c) határozzuk meg. Szakítás után az osztáspontok megváltozott távolságát lemérjük s abból az osztásból, amelyben a *legkisebb méretnövelés ment végbe*, kiszámítjuk a *legkisebb fajlagos méretnövelést. Ez adja az egyenletes nyúlás számértékét.* A többi osztás nem jöhet figyelembe, mert ezeket részint a legnagyobb terhelés alatt végbenemő, részint a képlékeny alakváltozás folytán keletkező kontrakció befolyásolta. Minthogy az eredeti keresztmetszetet ismerjük, a legnagyobb szakítóerőt pedig kísérlettel meghatároztuk, a szilárdságot a $\frac{P_{max}}{\Delta_0} = \sigma$ képlettel kiszámíthatjuk. A szakítószilárdságból és az egyenletes nyúlásból most már a p_e keménységet számítjuk ki, mert a 19.b képlet szerint: $\sigma(1 + \lambda_e) = p_e$. Hogy a feszültség analitikai képletét alkalmazhassuk, szükségünk van a parabola csúcspontja ordinátájának, a p_a -nak értékére, azért ezt ebben az esetben a következő empirikus képlettel határozzuk meg:

$$p_a = p_e (1 - 3 \lambda_e).$$

A nyert eredmények ismeretével a szívósság számértékét a 40. és 41. képlettel kiszámíthatjuk. Ez ugyanis:

$$m_e = (0,333 p_a + 0,667 p_e) \lambda_e$$

és

$$m_{max} = (0,215 p_a + 0,785 p_{max}) \lambda_{max}.$$

A képlékenységi alsó és felső határát szintén megállapíthatjuk. E célból lemérjük a kontrahált keresztmetszetet, a Δ_c -t s a $\frac{P_c}{\Delta_c} = p_c$ értéket. Ekkor a 45/b és a 45/a képlet szerint:

$$k_{max} = \frac{\Delta_e - \Delta_c}{\Delta_c} \text{ és } k_{min} = \frac{p_c}{p_e} - 1.$$

e) *Az összetartozó feszültségek viszonzszámának meghatározása.*

α_1) *A viszonzszám meghatározása grafikai eljárással.*

63. A 30. pontban kifejtettük, hogy összetartozóknak azokat a feszültségeket tekintjük, amelyek az anyag elrendezését a fősíkból egyformán megváltoztatják.

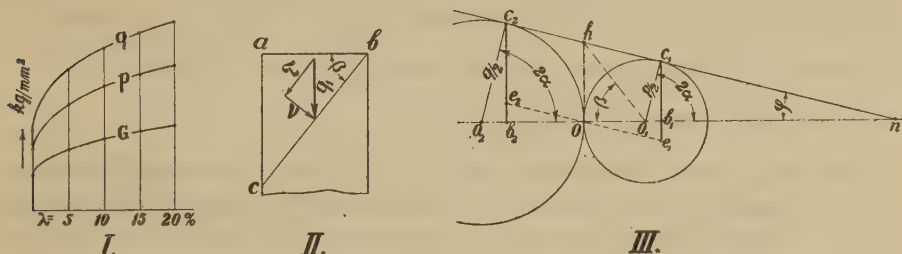
Minthogy azonos méretnövelés esetén az anyag elrendezése a fő-síkokban teljesen azonos, ennél fogva az összetartozó feszültségeket grafikailag olyképp érzékelhetjük meg, hogy a húzó- és a nyomófeszültségi ábrák rajzolásánál közös abszcisszatengelyt használunk, ahogy ezt a 19/I. ábra mutatja.

Ebben az esetben az adott abszcisszához tartozó ordináták képviselik az összetartozó feszültségeket, miért is ezek viszonya egyenértékű a 12-ik képlettel jelzett $tg^2 \beta_1$ függvény számértékével.

Ennél fogva:

$$\frac{q_1}{p_1} = a_1 = tg^2 \beta_1; \quad \frac{q_2}{p_2} = a_2 = tg^2 \beta_2; \quad \frac{q_e}{p_e} = a_e = tg^2 \beta_e. \quad (51.)$$

Ezzel tehát oly eljárást ismertünk meg, amelynek segítségével az elmozdulási szög tangensének számértékét sokkal pontosabban határozhatjuk meg, mint a felszíni rajzok metszéspontjaiban képződött szögek lemérésével.



19. ábra.

Az összetartozó feszültségek ábrái.

Minthogy e grafikai eljárással az adott λ -hoz tartozó $tg^2 \beta$ számértéke ismeretessé vált, az erő képletébe (l. a 37. képletet) a nyomófeszültségek helyett az összetartozó húzófeszültségeket írhatjuk, vagyis a nyomóerő képletét a következően fejezhetjük ki:

$$Q_1 = \Delta_1 p_1 tg^2 \beta_1 z_1. \quad (52)$$

Ezzel a maradó alakváltozások mechanikájának egyik sarkalatos tételéhez jutottunk, amely így szól: *Minden fajtájú feszültség az összetartozó húzófeszültséggel vagy bármely másfajtájú feszültséggel helyettesíthető, mert a különböző feszültségek függvényei egymásnak.*)*

64. Az alakváltozáshoz szükséges erő és munka pontos számértéke a β változása miatt csak a feszültségi ábra teljes ismerete esetén számítható ki. Ámde az ábrák közlése nehézségekbe ütközik, ép ezért, ha

*) Az összetartozó feszültségek létezését és azoknak egymástól való függését elsőnek REJTRŐ 1896-ban megjelent *Az elm. mech. techn. néhány alaptétele* című művében mutatta ki.

csak közelítő értékekre van szükségünk — s ez az eset a mechanikai technológiában a leggyakoribb, — a β változásától eltekintünk és $tg^2 \beta_e$ értékét úgy vesszük, mint az anyag jellemző állandóját. Ilyenkor az erőt analitikai képletekkel számítjuk ki. Az 52. képlet ekkor így írható:

$$Q_1 = \Delta_1 p_1 tg^2 \beta_e z_1 \quad (53.)$$

Hangsúlyozzuk azonban, hogy ez a közelítő eljárás csak 0.04-nél nagyobb alakváltozásoknál használható, mert az arányossági határ s ebből kifolyólag a folyás határa sem követi a maradó alakváltozások törvényszerűségét.

Teljesen egyenletesen elosztott szemcse-irányokkal bíró, vagyis gondosan kilágyított állapotú anyag arányossági határa minden irányban azonos, ez okból e határok viszonya: $\frac{q_a}{p_a} = 1$, ép ezért $\frac{q_f}{p_f}$ alig tér el az egységtől; de ha az anyagot valamely irányban már igénybe vettük, akkor a 29. pontban kifejtettek szerint a β szög lehet nagyobb vagy kisebb 45° -nál s így $tg \beta$ nagyobb vagy kisebb az egységnél, ezért a 30. pont szerint az összetartozó feszültségek viszonya is, a minő az arányosság határainak $\left(\frac{q_a}{p_a}\right)$ vagy a folyás határainak $\left(\frac{q_f}{p_f}\right)$ a viszonya is, kisebb vagy nagyobb lehet az egységnél: $\frac{q_f}{p_f} \leq 1$.

A szívós anyagot jellemző $tg^2 \beta_e$ számértékének meghatározásához az 51-ik képlet szerint az a húzó- és nyomófeszültség veendő figyelembe, amely a testben λ_e fajlagos megnyúlást okoz. Ezeket a feszültségeket a 49-ik pontban kifejtettek szerint úgy állapíthatjuk meg, hogy a feszültségi ábrához a -1 abszcisszával bíró pontból érintőt húzunk. Ezt az eljárást azonban csak gondosan kilágyított anyag esetén alkalmazhatjuk. Az olyan anyagok, amelyek valamelyes irányban az előző alakváltozás következtében némileg orientálódtak, ugyanabban az irányban kisebb fajlagos nyúlással bírnak, mint az erre normális irányban; ekkor tehát $\lambda_{e\ h} \leq \lambda_{e\ ny}$. Ilyen esetekben a nyomófeszültségi ábrából nem szabad a -1 -ből húzott érintő első érintési pontjának megfelelő ordinátát, hanem csak azt az ordinátát számításba vennünk, amely $\lambda_{e\ h}$ -val egyező fajlagos megnyúlásnak felel meg. Félreértések elkerülése céljából megjegyezzük, hogy összetartozó feszültségekről csak szívós anyagok esetén beszélhetünk, miért is az 52. és 53. képleteknek alkalmazhatósága a rideg anyagokra nem terjed ki. Ezeknél a törést okozó feszültségek az összetartozók.

β_1) A viszonyszám analitikai meghatározása a belső surlódás alapján.

65. Az anyagok alakváltozásának tárgyalása körébe a surlódás fogalmát elsőnek DUGUET (1885-ben) vezette be. Ő ugyanis a törés jelenségeit tanulmányozta s eközben az a nézet érlelődött meg benne, hogy a törés az elcsúsztatás következménye lehet és hogy a töréshez szükséges erő az

anyagának a csúsztatással szemben kifejtett ellenállóképességének — a *belső surlódásnak* — a függvénye.

A *belső surlódás* mérőszámául DUGUET, COULOMB nyomán, a külső erőnek a csúszás síkjába eső *tangenciális* komponensét vette föl, de magát a *belső surlódás* nagyságát COULOMB-tól eltérően nem a normális komponensnek a surlódási tényezővel való szorzatával, hanem az anyag sajátosságától függő állandóval (G) és a normális komponenstől függő változóval, νf -el, fejezte ki. Szerinte a normális komponensnek értelme állapítja meg, hogy a νf tag növeli-e vagy csökkenti a *belső surlódást*, miért is a szükséges tangenciális komponens nagyságát a következőképen fejezte ki:

$$\tau = G \pm \nu f. \quad (54.)$$

Az f tényezőt, minthogy azt surlódási tényezőnek vélte, COULOMB nyomán a surlódási szög tangensével fejezte ki s ezt adott anyag esetén állandónak tekintette:

$$f = \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{l. a 9. képletet}).$$

Továbbá azt tételezte fel, hogy a törés abban a síkban megy végbe, amelyre vonatkozólag nyomás esetén $\tau - \nu f$ kifejezés a legnagyobb értéket éri el. Hogy ezen sík hajlásszögét meghatározhassa, a τ és ν komponenseket a nyomófeszültséggel (q) és a csúszósíknak a nyomólappal alkotott szögével (β) fejezte ki, a szöget pedig változónak tekintve, azt kereste, hogy mely szögnél éri el a $\tau - \nu f = \Phi$ kifejezés maximumát.

A τ és ν értékek a csúszósík felületegységére vonatkozó feszültségnek a komponensei, ámde a kísérleti adatokból nem ezeket, hanem a külső erő irányára normális síkra eső feszültséget határozzuk meg; azért elsősorban e kétféle feszültség közötti összefüggést kell megállapítanunk.

Jelöljük a nyomófelületre vonatkozó feszültséget q -val, a csúszósíkra vonatkozót pedig q' -el, úgy ezek között a 19/II. ábra szerint a következő geometriai összefüggés áll fenn:

$$q \cdot ab = q' \cdot bc, \quad \text{ebből: } q' = q \cos \beta.$$

Most már a q' komponenseit kifejezhetjük. Ezek képlete a következő:

$$\tau = q \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta,$$

$$\nu = q \cos^2 \beta.$$

Ez értékekkel Φ fenti képletét kifejezve és abba az $f = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$ értéket téve:

$$\Phi = \frac{q \cos \beta (\sin \beta \cos \varphi - \cos \beta \cdot \sin \varphi)}{\cos \varphi} = q \frac{\cos \beta}{\cos \varphi} \sin (\beta - \varphi). \quad (54/a.)$$

Ennek β szerinti első differenciál hányadosa, ha φ értékét állandónak vesszük:

$$\frac{d\Phi}{d\beta} = -\sin\beta \cdot \sin(\beta - \varphi) + \cos\beta \cos(\beta - \varphi) = 0,$$

ebből: $\cos(2\beta - \varphi) = 0,$

tehát: $2\beta - \varphi = 90^\circ$

vagyis: $\beta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ (l. a 10. képletet).

A húzófeszültséggel teljesen azonos módon eljárva, az eredmény a következő:

$$2\alpha + \varphi = 90^\circ;$$

azaz: $\alpha = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}.$

Ebből következik, hogy $\alpha + \beta = 90^\circ$ (l. a 8-ik képletet).

A feszültségek viszonyának meghatározása céljából DUGUET a τ és ν értékeit a φ szög függvényében fejezte ki:

$$\tau = q \sin\beta \cdot \cos\beta = \frac{1}{2} q \sin 2\beta = \frac{1}{2} q \sin(90^\circ + \varphi) - \frac{1}{2} q \cos\varphi, \quad (54/b.$$

$$\nu = q \cos^2\beta = \frac{1}{2} q (1 + \cos 2\beta) = \frac{1}{2} q (1 - \sin\varphi). \quad (54/c.$$

Ez értékeket az 54. képletbe helyettesítve:

$$\frac{1}{2} q \cos\varphi = G + f \frac{1}{2} q (1 - \sin\varphi).$$

Ebből G értékét kifejezve és $f = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi}$ értékét helyettesítve:

$$\begin{aligned} G &= \frac{q}{2} \left[\cos\varphi - \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} (1 - \sin\varphi) \right] = \frac{q}{2} \frac{1 - \sin\varphi}{\cos\varphi} \\ &= \frac{q}{2} \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{q}{2} \operatorname{ctg}\beta. \end{aligned} \quad (54/d.$$

Azonos módon eljárva, húzás esetén DUGUET a következő eredményhez jutott:

$$G = \frac{p}{2} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{p}{2} \operatorname{ctg}\alpha = \frac{p}{2} \operatorname{tg}\beta. \quad (54/e.$$

Minthogy pedig nyomásnál ugyanaz a G szerepel, mint húzásnál, ennél fogva a G -re nyert kifejezések egyenletbe foglalhatók:

$$G = \frac{q}{2} \operatorname{ctg}\beta = \frac{p}{2} \operatorname{tg}\beta.$$

Ebből: $G = \frac{1}{2} \sqrt{qp}$ (54/f.

és $\frac{q}{p} = \operatorname{tg}^2\beta$ (l. a 12-ik képletet).

Vagyis G a húzó- s a nyomóerő geometriai középárányosának a fele, a törés határánál pedig az összetartozó feszültségek viszonya: $tg^2 \beta$. A belső surlódás útján tehát DUGUET ugyanazon eredményre jutott, amelyre mi az előzőkben a molekuláris szerkezet alapján jutottunk.

66. Ámbár DUGUET számításainak eredményei az acélanyagok kísérleti eredményeivel megegyeznek, álláspontját mégis sokan megtámadják azért, mert az anyagi részecskék elmozdulásakor a külső surlódáshoz hasonló jelenségek nem észlelhetők. Minthogy ezek a kifogások nem az eljárás lényegét, hanem a képzelt jelenségek elnevezését érintik, ezért az alábbiakban a DUGUET-féle felfogás fizikai alapját óhajtjuk ismertetni s egyben kitérünk arra is, hogy miféle kapcsolat áll fenn a külső- és a belső surlódás között.

Kísérleti tény, hogy a külső surlódás kopást okoz s hogy a lekoptatott részek, ha még oly finom poralakúak is, kellő nagyításban nézve szabályos forgácsalakúaknak látszanak. Minthogy pedig a forgácsolás, amint ezt később kimutatjuk, az anyagi részek elmozdulásán alapszik, következik, hogy a külső surlódás azonos mellékkörülmények között annál nagyobb, minél nagyobb az anyag ellenállóképessége az elmozdítással szemben. Ennek alapján kimondhatjuk, hogy a külső surlódás függvénye a csoportok ellenállásának azok elmozdítása ellen s mert ezt az ellenállást DUGUET *belső surlódásnak nevezi*, azt is mondhatjuk, hogy a külső surlódás a belső surlódásnak a függvénye és hogy ezzel okozati összefüggésben áll.

Hogy pedig DUGUET eljárásának fizikai alapját megállapíthassuk, az 54. képletben szereplő tagok változásának törvényeit kell figyelembe vennünk. A G egymagában akkor egyenlő a (τ) tangenciális komponenssel, ha $\varphi = 0^\circ$, tehát ha $\alpha = \beta = 45^\circ$; a 14-ik pontban kifejtettek szerint pedig az elmozdulás szöge csak gömbalakú amorf anyagnál $= 45^\circ$. Ebből következik, hogy a G állandó *azt a belső surlódást jelzi, amelyet az anyag kifejtene, ha amorf volna*, vagyis, ha az osztások a fősíki mindkét irányában azonosak volnának.

A 29. pontban kifejtettek szerint azonban ez az eset kristályos anyagoknál nem fordul elő. Ezeknél az osztások nagysága a különböző tengelyek mentén különböző, ezért a csúszási szögek nagysága sem lehet egyenlő. E szögek különbsége $\beta - \alpha = \varphi$; ennél fogva e különbség tangense, $tg \varphi = f$ is a kristályos anyagoknak az amorf alaktól való eltérés fokát, vagyis a kristályosodás mértékét jelzi, ezért nem is lehet olyan jellegű, mint a külső surlódás tényezője. Elnevezése tehát fizikai szempontból hibás, de analitikai szempontból nem, mert az analízisben a mennyiségnek nem az elnevezése, hanem változásának törvényszerűsége a döntő.

Minthogy az f tényező a molekula alakjának az amorftól való eltérését jelzi s mert az alak a temperatúrának s az orientálódás mértékének a függ-

vénye (l. a 16. és 17. pontot), ezért f -nek az anyag egy bizonyos állapotában meghatározott értéke van, tehát független a feszültségtől. Épen ezért DUGUET képlete csak adott határokon érvényesülő értékek kiszámítására használható.

67. Ámbár DUGUET hibás nézetből indult ki, képletének mégis teljesen kifogástalan fizikai alapot adott azzal, hogy az egyes tényezők változásának törvényét kísérleti jelenségekből kiindulva, helyesen állapította meg. De ha DUGUET képletének fizikai alapja helyes, alkalmazhatósága kétségen kívül tágabb, mint ahogy azt maga DUGUET képzelte. Hogy ez nemcsak a törésre, de az azonos alakváltozást okozó húzó- s nyomófeszültségekre, mint határesetekre is használható, azt REJTŐ 1896-ban grafikailag igazolta, amikor kimutatta, hogy az adott λ_1 megnyúlást okozó húzó- s nyomófeszültségek viszonya annyira jellemző, hogy számításainkban e viszonzszám felhasználásával a nyomófeszültségeket a húzófeszültségekkel fejezhetjük ki (l. a 63. pontot).

Ámde, ha DUGUET végeredménye, t. i. az, hogy $\frac{q}{p} = \operatorname{tg}^2 \beta$, nemcsak a törésnél, hanem közbeeső alakváltozások minden határára érvényes, akkor a fentebbi, valamint az 54/f alatti képletet így írhatjuk:

$$\frac{q_1}{p_1} = \operatorname{tg}^2 \beta_1 \text{ és } G_1 = \frac{1}{2} \sqrt{q_1 p_1}.$$

Ebből pedig következik, hogy az 54. képletben szereplő G tag nem abszolút állandó, hanem épúgy, mint az $f = \operatorname{tg} \varphi$, szintén változó, csak-hogy *a feszültségtől*, amelyet az alak is befolyásol, *független s csakis az orientálódástól* (λ_1 -től) *függ*. Ez a G érték az 54 d és 54/e képletekkel kimutatott összefüggés alapján a húzó- s a nyomófeszültségek kifejezésére is használható, ugyanis: $p_1 = 2 G \operatorname{ctg} \beta_1$ és $q_1 = 2 G \operatorname{tg} \beta_1$, ép ezért az az anyag tulajdonságaira jellemző adatnak tekinthető.*) Változásának törvényszerűsége a 19/I. ábrából tűnik ki.

68. Teljesen azonos eredményre jutott MOHR is. Ő 1914-ben megjelent művében új hipotézisét a következő szavakkal jellemzi: A csúszósíkban kifejtendő tangenciális feszültség értéke a normális feszültségtől és az anyag sajátágától függ. Ez a mondat képlettel általánosan így fejezhető ki:

$$\tau = \psi(G, \nu). \quad (55.)$$

De ha csak az összetartozó húzó- és nyomó-feszültségeket vesszük figyelembe, akkor:

$$\tau = G + \nu f.$$

*) A G -vel jelzett fogalmat MESNAGER, aki DUGUET könyvéről tudomással nem bírt, (πf)-fel jelölte. Ez a jelzés az irodalomban csakhamar elterjedt, azért azt én is használtam. De mert azóta DUGUET elsőbbsége nyilvánvalóvá vált s mert az elsőbbségre az irodalomban figyelemmel kell lennünk, azért e könyvemben πf helyett a G betűt használom.

MOHR kiinduló pontja tehát, ebben a különleges esetben, teljesen azonos a DUGUET-ével, noha a surlódás fogalmát nem is említi. Képletét ő csak határértékek kiszámítására tartja alkalmasnak. Minden határértéknél állandónak veszi az f tényező értékét. Összetartozóknak azokat a húzó- és nyomófeszültségeket mondja, amelyek felszín-rajzának metszéspontjaiban azonos szögek képződnek. Minthogy a szög változása csakis szívós anyag-nál fordul elő s mert e változás az orientálódás mértékétől függ, ez pedig folytatólagos igénybevételkor a fajlagos megnyúlással arányos, így hát MOHR a szívós anyagokra vonatkozólag teljesen REJTŐ álláspontját követi.

Számításait MOHR geometriai úton, még pedig körbeírt háromszögekkel végzi.

E célból a feszültségeket vektormennyiségként az abszcisszatengelyen annak kezdőpontjától kiindulva jelöli meg; a húzófeszültséget $+$ jelűnek, a nyomót — jelűnek véve, annak felező pontjából $\frac{p}{2}$, illetőleg $\frac{q}{2}$ sugárral kört ír. (L. a 19 III. ábrát.)

DUGUET előbb közlött levezetései szerint:

$$\tau = p_1 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{p_1}{2} \sin 2\alpha,$$

$$\nu = p_1 \cos^2 \alpha = \frac{p_1}{2} (1 + \cos 2\alpha).$$

A feszültségeknek és az elmozdulás szögének ezt az összefüggését felhasználva, MOHR a komponensek értékeit geometriailag a következően tüntette fel: a külső feszültség felező pontjából, o_1 -ből és o_2 -ből, 2α szög alatt sugarat húzott. E sugarak a köröket c_1 és c_2 -ben metszik. E pontok ordinátái: $c_1 b_1 = \tau_1$ és $c_2 b_2 = \tau_2$, abszcisszái pedig: $o b_1 = \nu_1$ és $o b_2 = \nu_2$. MOHR azonfelül az o kezdőpontból az abszcisszatengelyhez φ szög alatt hajló egyenest is vont s ezzel az $o b_1 e_1$ háromszögnek $b_1 e_1$ befogóját így fejezte ki:

$$b_1 e_1 = o b_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi = \nu_1 f,$$

ezzel pedig alapegyenletét a következő vonalakkal érzékítette meg:

$$c_1 b_1 + b_1 e_1 = \tau_1 + \nu_1 f = G_1.$$

A G tag ábrázolása céljából a c_1 pontban a körhöz érintőt húzott, amely, mert $2\alpha + \varphi = 90^\circ$, okvetlenül párhuzamos az $o e_1$ vonallal s így értéke: $o h = c_1 e_1 = G$.

Ez a G érték az $o h n$ derékszögű háromszögből is kifejezhető:

$$o n = o h \cdot \operatorname{ctg} \varphi = G \operatorname{ctg} \varphi.$$

DUGUET ezt az $o n$ értéket, mert abban a véleményben volt, hogy a belső surlódás teljesen követi a külső surlódás törvényét, *kohézió*nak

nevezte el. Teljesen így járt el MESNAGER is, aki ezt szintén kohézió-nak nevezte és π -vel jelezte. Ám a 66. pontban a G fizikai értelmét már megadtuk és tudjuk, hogy ez ép úgy, mint a φ szög a kristályosodás mértékétől függ, a kohézió pedig — mint az első kötetben részletesen kifejtettük — a két belső erőnek a függvénye. Ebből tehát következik, hogy az on befogó csak *geometriai függvénye* a G s f_1 -nek, *de a kohéziót nem jelentheti*.

MOHR grafikai eljárásával a több irányú erők tárgyalásánál még foglalkozni fogunk.

γ₁) *Közelítő eljárások az összetartozó feszültségek meghatározására.*

69. MESNAGER az anyagvizsgálók 1900-ban Párisban tartott kongresszusán abból a nézetből indult ki, hogy a feszültségek növekedése függvénye az erő irányában létrejövő, a megváltozott méretekre vonatkozó differenciális fajlagos méretváltozásnak, t. i. a $\frac{ds}{h_1}$ és a $\frac{ds}{\delta_1}$ viszonynak.

Ha tehát a húzásnál létrejövő $\frac{ds}{h_1}$ fajlagos differenciális méretnövelés egyenlő a nyomásnál előálló $\frac{ds}{\delta_1}$ fajlagos differenciális méretcsökkenés értékével, úgy a feszültség növekedése is azonos. Ebből következik, hogy abban az esetben, ha a feszültségeknek a méretváltozások előtti értékei egyenlők, akkor megváltozott értékük is azonos marad, vagyis ha $q_a = p_a$ úgy $q_1 = p_1$.

E differenciális fajlagos méretnövelés az eredeti hosszúságra vonatkozó fajlagos méretnöveléssel, λ_1 -gyel, a következő összefüggésben áll:

$$\frac{ds}{h_1} = \frac{ds}{h_0(1+\lambda_1)} = \frac{d\lambda_1}{1+\lambda_1}. \quad (56.)$$

A teljes fajlagos megnyúlás értéke pedig:

$$\int \frac{d\lambda_1}{1+\lambda_1} = \ln(1+\lambda_1) = 2,3 \lg(1+\lambda_1). \quad (56/a.)$$

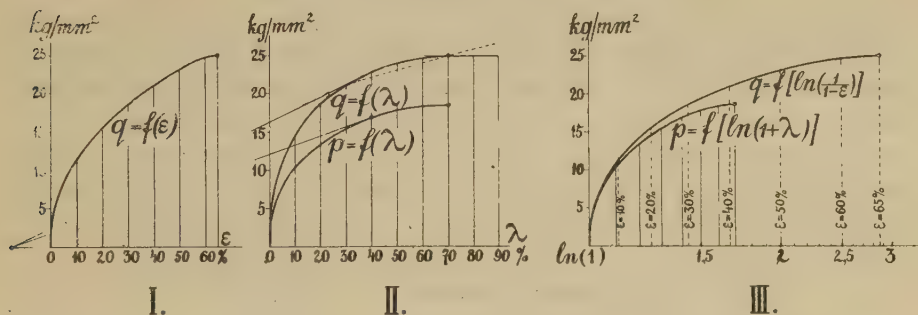
Nyomás esetén a megváltozott méretekre vonatkozó differenciális fajlagos méretcsökkenés az eredeti méretre vonatkozóval, ε_1 -nal, a következő összefüggésben áll:

$$\frac{ds}{\delta_1} = \frac{ds}{\delta_0 - s_1} = \frac{ds}{\delta_0 \left(1 - \frac{s_1}{\delta_0}\right)} = \frac{ds}{\delta_0(1-\varepsilon_1)} = \frac{d\varepsilon}{1-\varepsilon_1} \quad (56/b.)$$

$$\text{és} \quad \int \frac{d\varepsilon}{1-\varepsilon_1} = \ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon_1}\right) = -\ln(1-\varepsilon_1). \quad (56/c.)$$

Minthogy abban az esetben, ha $\ln(1+\lambda) = \ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon_1}\right)$, a fenti megszorítás mellett a feszültségek is egyformák, ép ezért MESNAGER a húzófeszültségeket a $\ln(1+\lambda_1)$ függvényében, a nyomófeszültségeket pedig $\ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon_1}\right)$ -ben ábrázolta, mert ebben az esetben az ő véleménye szerint e két feszültségi ábra teljesen egybevágó. Tényleg azonban, amint ez az arany feszültségi ábráit mutató 20./III. ábrából kitűnik, e két feszültségi görbe nem egybevágó, miért is MESNAGER eljárása csak közelítőnek tekintendő. Előnye kétségtelenül az, hogy egyetlen nyomó kísérlet alapján a húzófeszültségi görbét legalább közelítő értékeiben felrajzolhatjuk s így az anyag húzás elleni magatartására némi útmutatást nyerünk.

LUDWIK 1909-ben megjelent művében a feszültségi ábrák meg-



20. ábra.

A színarany feszültségi ábrái.

Az I. kép a nyomófeszültséget ε függvényben, a II. kép az összetartozó húzó- és nyomófeszültségeket λ függvényben, a III. kép pedig a feszültségeket MESNAGER eljárása szerint a $\ln(1+\lambda)$ és $\ln(1-\varepsilon)$ függvényben ábrázolja.

rajzolásában szintén új eljárást hozott javaslatba. Ő ugyanis a feszültségek helyett ezeknek a csúszás irányába eső *tangenciális komponenseit* veszi figyelembe, de azzal a megközelítéssel, hogy az elcsúsztatások irányvonalainak hajlásszögét állandónak, még pedig 45° -nak veszi. Elismeri ugyan, hogy a hajlásszög változó, de mert fémeknél értéke a 45° -tól kis mértékben tér el, ezért gyakorlati szempontból e különbséget elhanyagolhatónak véli.

Minthogy a tangenciális komponens képlete (l. az 54 b.):

$$\tau_1 = \frac{1}{2} q_1 \sin 2\beta,$$

azért ez, $\beta = 45^\circ$ esetén

$$\tau_1 = \frac{1}{2} q_1 = \frac{1}{2} p_1. \quad (57.)$$

LUDWIK tehát a feszültségek tangenciális komponense helyett a feszültségek fele értékeit veszi figyelembe s ezeket belső súrlódásnak nevezi. Hogy e belső súrlódások változását szemléltetővé tegye, olyan ábrát szerkesztett, amelynek abszcisszái a *fajlagos elcsúszások* (γ) és az ilyen módon megszerkesztett ábrát a »folyás ábrájának« nevezte.

Elcsúszásnak LUDWIK az elmozdulás irányvonalában — azaz a csúszás síkjában — végbemenő mozgást nevezi és hogy enniek fajlagos értékét meghatározza, a végtelen kis elmozdulást a megváltozott irányvonal hosszúságára vonatkoztatta. Minthogy akkor, ha $\alpha = \beta = 45^\circ$, húzás esetén a fajlagos elcsúszás (γ) a megváltozott hosszúságra vonatkoztatott fajlagos méretnövelésnek kétszerese:

$$\gamma = 2 \ln(1 + \lambda_1), \quad (58.)$$

nyomás esetén pedig a méretcsökkenésnek kétszerese:

$$\gamma = 2 \ln\left(\frac{1}{1 - \varepsilon_1}\right),$$

ezért LUDWIK ábrájának abszcisszái kétszer akkorák, mint a MESNAGER-félék s mert ordinátái az előbbiek szerint félakkorák, ezért a MESNAGER eljárása szerint megszerkesztett 20/III. ábra a LUDWIK ábráját is jelzi, csak az ordináták és az abszcisszák mérőszámait kell megfelelően módosítanunk. LUDWIK tehát teljesen MESNAGER álláspontját követi, ezért az ő eljárása is csak közelítően adja meg az összetartozó feszültségeket.

§) A leggyakrabban használt fémek jellemző adatai.

70. A szilárd anyagok állapotát és mechanikai tulajdonságait a 37—64. pontokban kifejtettek szerint a következő adatok jellemzik: a p_f , p_a , p_e , λ_e és π , valamint az ezekből kiszámított m_e és a k , továbbá a q_f , q_a , q_e , q_{max} , λ_{max} és a $tg^2 \beta_e$.

Az első sorban megnevezett adatokat húzókísérletekből, a másodikban levőket nyomókból, a $tg^2 \beta_e$ értékét pedig a húzó- és nyomófeszültségek viszonyából határozzuk meg.

Hogy a leggyakrabban használt fémekre vonatkozólag e számértékek nagysága felől tájékozódást nyújtunk, azokat a III. táblázatba foglaltuk. Minthogy e jellemző adatok kiszámításakor oly jelenségek is fordulnak elő, amelyeket az előzőekben a gondolatmenet folytonossága kedvéért fel nem említettünk, ezért ezekre most térünk ki.

Ez irányú első megjegyzésünk a $tg^2 \beta_e$ viszony meghatározására vonatkozik. Ehhez ugyanis azt a q_e értéket kell használnunk, amelyet az 51. pontban kifejtettek szerint $\delta_1 \geq d_1 tg \beta_1$ méretek esetén kaptunk. Amennyiben azonban az átmérőnek $D \lambda_e$ -vel való megnövekedésekor $\delta_1 < d_1 tg \beta_1$ volna, úgy az 51. pontban kifejtett és a 18. ábrán szemléltetett behorpadás miatt, ennek a q_e -nek a p_e -hez való viszonya, $\frac{q_e}{p_e} = tg^2 \beta_e$, hibás.

III. táblázat.

száma	A z a n y a g megnevezése	H ú z á s						N y o m á s								
		p_f kg/mm ²	p_a kg/mm ²	p_e kg/mm ²	λ_e o/o	m_e mg/dm ²	π_1 kg/mm ²	k	T_{∞}^*	q_f kg/mm ²	q_a kg/mm ²	q_e kg/mm ²	$\lambda_e(t)$ o/o	$\lambda_e(p)$ kg/mm ²	q_{max} kg/mm ²	λ_{max} o/o
537	Színarany	3,31	2,0	16,9	40	4770	77 [*])	3,58	1,36	2,4	0,4	20,5	28	23	25	70
537	14 karátos arany	37,4	30,5	70,5	26,4	15100	91 [*])	0,29	1,4	62,3	52	94,8	20	98,4	104	70
537	Szinezüst	2,16	0	22	45	6600	78 [*])	2,57	1,29	0,6	0	25,8	33	28,3	32	80
274	Nikkel	24,75	24,2	55,1	22	9811	111 [*])	1,01	1,21	22	22	66,8	22	66,8	81	70
257	Vörösréz	6,9	5,3	28,9	32	6720	41,4	0,43	1,1	2,6	1,2	30,9	28,1	31,8	37,5	80
254	Cink, hengerelt s kilagyított	7,4	7,4	13,4	7,2	820	26 [*])	0,9	1,44	11,9	11,9	19,8	9	19,3	20,6	20
50	Ólom	0,64	0,64	2,15	25	412	10,7 [*])	> 4	1,25	0,16	0,16	2,70	25	2,70	3,0	72
262	Sárgaréz (33% Zn tart.)	14,3	14,3	61,9	29,5	13600	98,2	0,59	1,22	17,4	11,9	75,4	29,5	75,4	82	59
60	Ón	0,75	0,75	2,01	15	240	10,65 [*])	> 4	1,66	0,79	0,79	3,33	15	3,33	3,53	25
80	Foszförbronz	26,9	26,9	32,2	5,25	1600	75,8	1,35	1	25,3	24,3	35,1	12,6	31,4	45	100
580	Öntöttvas	—	—	—	—	—	17,5	—	4,15	—	—	—	—	—	71,3	4
581	Betűfém $P_b: 79, S_b: 19, S_n: 2\%$	—	—	—	—	—	3,5	—	2,17	—	—	—	—	—	6,78	4
486	Lágyvas	26,5	21	49,4	20	8000	109,5	1,22	1,25	24,9	17	61,7	20	61,7	81	100
474	Acél	31,7	15,5	62,2	16	7450	118,6	0,91	1,17	30,1	30	73	16,9	72,8	90	70
482	Acél	35,8	35,8	75	12,6	7800	131	0,75	1,15	35,7	35,7	86,2	13,1	89,6	105	70
496	Acél	40,3	40,3	81,5	11,8	8000	134,5	0,65	1,21	39,8	39,8	99,6	13	98,6	121	70
497	Acél	43	42	101	8	6500	143,5	0,42	1,13	44,4	44,4	114,8	8,4	114	127,3	53
498	Hegesztett vas	26,6	22	41,3	18	6250	63,2	0,53	1,33	24,3	23	54,7	17,8	54,8	—	—
586	Alumínium, öntött	5,5	5,5	10,7	8	720	20	0,91	1,04	2,9	2,9	15,2	25	11,1	19,6	80
5	Alumínium, kovácsolt	7,7	7,7	12	16	1690	24	1	1,06	2,5	2,5	13,8	23	12,7	17,9	90

*) Megközelítő érték.

A helyes értéket csak a feszültségi ábra behorpadt részének kijavításával kaphatjuk. E célból a z_1 értéket kell kiszámítanunk, csakhogy ehhez ismét $tg^2 \beta_e$ ismerete volna szükséges. De mert a 34. és 36. képletek szerint a $tg \beta$ -nak a z értékére gyakorolt befolyása csekély, ezért a z kiszámítása céljából $tg \beta_e$ -nek a horpadásos q_e -ből eredő közelítő értékét vehetjük. A z_1 érték ismerete alapján kiszámítjuk a q_{max} értékét s ez alapon olyképp javítjuk ki a q görbét, hogy ez ellipszisszerű alakot nyerjen. Már most a kijavított ábrából a λ_e abszcisszának megfelelő, q_e' értéket állítjuk p_e -vel viszonyba és jellemző adatnak ezt a $\frac{q_e'}{p_e} = tg^2 \beta_e$ értéket vesszük.

Rideg anyagok esetén az összetartozó feszültségek jellegét a törés alkotja, vagyis a p_t és q_t értéke, miért is ezek viszonya $\frac{q_t}{p_t} = tg^2 \beta_t$, veendő számításba. Ezeket az értékeket a III. táblázat q_{max} , p_{max} s $tg^2 \beta_e$ rovataiba helyeztük el.

Utolsó megjegyzésünk a feszültségi ábrák alakjára vonatkozik.

A színaranyak és a színezüstnek feszültségi ábrái, ha anyaguk teljesen ki van lágyítva, a 20/II. ábra szerint majdnem $1/4$ ellipszist alkotnak. A feszültségi ábra ez alakjával beigazolást nyert az a feltevésünk, hogy a feszültség változása valóban az ellipszis törvényszerűségét követi.

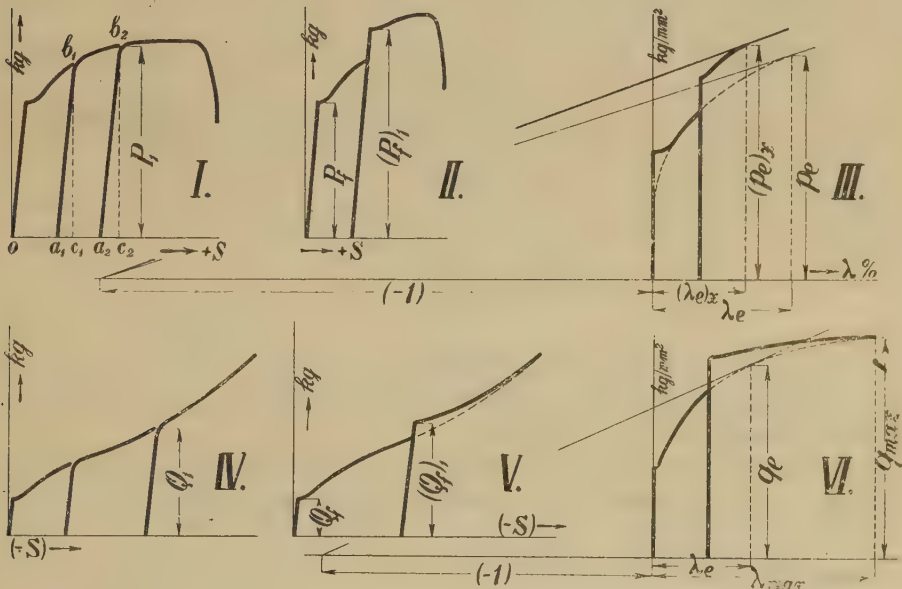
A réz, ón, ólom, cink és ötvözeteik feszültségi ábrái olyanok, mint a hideg megmunkálással szívósságától részben megfosztott aranyé. A vas-ötvözetek feszültségi ábrái ezektől annyiban különböznek, hogy a folyás határánál kisebb-nagyobb mértékben behorpadtak.

b) Megszakítással működő erők.

71. A megszakítással működő erők hatása lényegesen módosul aszerint, amint a tárgyat tehermentesített állapotban hosszabb vagy rövidebb ideig pihentetjük, továbbá aszerint, amint az erő a következő igénybevételkor növekedő, vagy az előzővel azonos nagyságú.

Igen rövid ideig tartó pihentetés esetén azok a jelenségek mutatkoznak, melyekkel a 41. pontban foglalkoztunk, t. i. az arányosság határa folyton nő ugyan, de sohasem éri el az előző terhelés határát. Az erő vonala ugyanis, amint az előző terhelés határához közeledik, elhajlik és az előző terhelés erővonalához símul, mert a labilis csoportok nagyobb fokú elmozdulása következtében maradó alakváltozás megy végbe. Ebben az esetben a diagramm burkoló vonala teljesen megegyezik azzal, amely a folytonosan növekedő erő változását jellemzi, amint ezt a 21. ábra I. és IV. képe mutatja.

A diagrammák burkoló vonala által határolt terület a többszörös tehermentesítés következtében nem változott ugyan, azonban az alakváltozashoz szükséges munka ez utóbbi esetben mégis lényegesen nagyobb, mint a folytatólagos igénybevételeknél, mert minden tehermentesítés után a külső erőnek a rugalmas alakváltozashoz szükséges munkát újra meg újra kell kifejeznie. Épen ezért a maradó alakváltoásokhoz a külső munkának csak egy hányadrésze használható fel, még pedig annál nagyobb hányada, minél nagyobb a külső erő az előző igénybevételhez képest. Azt a viszonyt, amelyben a maradó alakválto-



21. ábra.

A pihentetés hatása az erőre s a feszültségre.

záshoz felhasznált munka az összes külső munkához áll, *hasznosítási foknak* (η) nevezzük s ennek értéke a 21. l. ábra szerint:

$$\eta_1 = \frac{o b_1 a_1}{o b_1 c_1}; \quad \eta_2 = \frac{o b_2 a_2}{o b_2 c_2}.$$

Tehát η annál nagyobb, minél nagyobb a maradó alakváltozás.

Hogy a hasznosítás fokának változásáról némi fogalmat nyujtsunk, *Uchatius* kísérleteit közöljük. *Uchatius* ugyanis egyforma méretű rézhengereket szabadon eső tömeggel alakított. Kísérleteihez állandó G súlyú tömeget használt, amelyet ötféle magasságból ejtett a próbadarabra. Minden magasságból annyiszor ejtette le a G súlyt, míg a próbatest annyira deformálódott, mint az, amelyre a G súly 8 méter magasságból egyszer esett le.

Kísérleti eredményeit, vagyis a szükségessé vált ütésszámokat és azonfelül az egyes kísérleti csoportok átlagos hasznosítás fokát a IV. táblázatba foglaltuk. Megjegyezzük, hogy a hasznosítás fokát abból a feltevésből kiindulva számítottuk ki, hogy a 8 méter magasságból gyakorolt ütés hatásfoka: 0,5.

IV. táblázat.

Az esés magassága H^m	8	6	4	2	1
A szükséges ütések száma I	1	4	14	352	2050
A hasznosítás foka η	0,5	0,18	0,07	0,005	0,0015
Ig I kísérleti értéke	0	0,60	1,14	2,54	3,31
$\left(\sqrt{\frac{H_0}{H_1}} - 1\right)$ értéke	0	0,15	0,40	1,00	1,80
$\left(\sqrt{\frac{H_0}{H_1}} - 1\right)^{1/2}$ értéke	0	0,38	0,63	1,00	1,34
I számított értéke	1	8	37	305	2000

Minthogy a próbadarabok kezdeti és végső méretei teljesen egyformák voltak, ennél fogva az alakításukhoz felhasznált hasznosított külső munka (M) nagysága is egyforma.

A táblázatban közölt ütésszámok összehasonlításából azonban kitűnik, hogy a hasznosított munka kifejtéséhez szükséges ütésszámok a ható mozgásmennyiségnek, az $mv = \frac{G}{g} \sqrt{2gH} - \varepsilon \sqrt{H}$ értéknek csökkenésével nőnek, vagyis hogy ezek fordított viszonyban állanak. Hogy növekedésük törvényszerűségét meghatározhassuk, alapul a 8 méter magasságból végzett ütés eredményeit vettük fel, vagyis az $I_0 = 1$ és az $mv_0 = \varepsilon \sqrt{H_0}$ értékeket s ezekhez viszonyítottuk a kisebb magasságból végzett kísérletek értékeit. Az összetartozó viszonzyszámok tehát: $\frac{I_1}{I_0} = I_1$,

$\frac{mv_1}{mv_0} = \sqrt{\frac{H_0}{H_1}} \frac{I_2}{I_0} = I_2$ és $\sqrt{\frac{H_0}{H_2}}$ stb.; de mert az $I_1, I_2 \dots$ értékek a $\sqrt{\frac{H_0}{H_1}}, \sqrt{\frac{H_0}{H_2}} \dots$ értékek kis mértékű növekedésével rohamosan nőnek, ezért e mennyiségek függvényét exponenciálisnak vettük fel. Összefüggésüket ez okból a következőképen fejezhetjük ki:

$$I_1 = M \left(\sqrt{\frac{H_0}{H_1}} - 1 \right)^x \quad (59.)$$

A kitevőben a -1 érték azért alkalmazandó, mert abban az esetben, ha $H_1 = H_0$, a kitevőnek zérus értékűnek kell lennie. Ebből a képletből következik, hogy

$$\frac{\lg I_1}{\lg I_2} = \frac{\left(\sqrt{\frac{H_0}{H_1}} - 1\right)^x}{\left(\sqrt{\frac{H_0}{H_2}} - 1\right)^x}$$

Minthogy pedig az x kitevő kivételével e képletben szereplő összes tagok ismeretesek (értékeiket l. a IV. táblázatban), az ismeretlen kitevő meghatározható. A számítást végrehajtva úgy találtuk, hogy $x = \frac{1}{2}$.

Ennélfogva a szükséges ütésszámok képlete:

$$\frac{\lg I_1}{\lg I_2} = \frac{\left(\sqrt{\frac{H_0}{H_1}} - 1\right)^{1/2}}{\left(\sqrt{\frac{H_0}{H_2}} - 1\right)^{1/2}} \quad (59/a.)$$

vagy általánosságban:

$$I_1 = M \left(\sqrt{\frac{H_0}{H_1}} - 1\right)^{1/2} \quad (59/b.)$$

Az 59/a. képlettel kiszámított I értékeket ugyancsak a IV. táblázatba foglaltuk. Ebből kitűnik, hogy képletünk eredménye számhelyek mennyiségére vonatkozólag a kísérlettel megegyező, de a számjegy értékei részint nagyobbak, részint kisebbek a kísérleti értékeknél, ami a használt próbaanyag egyenlőtlenségén kívül arra is vall, hogy a kísérletek mellékkörülményei, a gépi berendezés befolyása következtében, nem voltak teljesen azonosak. Ezek után a hosszabb ideig tartó pihentetésre térhetünk át.

72. Hosszabb ideig tartó pihentetés esetén a belső erők hatása következtében a labilis helyzetben levő csoportok elmozdulni kénytelenek. Ekkor e csoportok részben stabilis helyzetbe jutnak ugyan, de ugyanakkor azok a csoportok, amelyek velük egy magot alkottak, a diszharmonikus mozgás következtében labilis helyzetbe kerülnek. Ezért új terheléskor az erő vonala túllépi az előző terhelés határát és törtvonal-szerűen megváltoztatja irányát olyképen, amint ezt eddig a folyás határánál észleltük. A diagramm alakja a 21. II. és a 21. V. ábrán látható.

Húzással való alakítás esetén, mert a feszültség hirtelen emelkedése következtében a feszültségi görbe hamarabb símul a -1 -ből húzott érintőhöz, (l. a 21. III. ábrát) a test nem λ_e , hanem ennél jóval csekélyebb λ_x elérése után szakad el; ezért kimondhatjuk, hogy húzáskor a pihentetés károsan hat és hogy a *húzásnak alávetett pihentetett rúd kevésbé megbízható, mint az állandóan megterhelt rúd.*

nagyságú, mint a rendes húzás erőábrájának ugyancsak a legnagyobb húzóerőig terjedő darabja, t. i. a 22. I. ábra aec része. Ebből következik, hogy ismételt igénybevételeknél a szívósság megsemmisítéséhez ugyanolyan nagyságú fajlagos külső munka szükséges, mint a rendes húzásnál. De mert a fajlagos külső húzó munka kifejezése a 42/a. képlet szerint:

$$m_h = \frac{M_h}{\Delta_0 h_0} = m_e - 0.5 p_a a \lambda_e^2,$$

következik, hogy azonos fajlagos külső munka esetén a szívóssági ábra területe is azonos.

Ha a külső erők nagyságát vesszük figyelembe, a fajlagos külső munka állandóságát kell alapul vennünk, de ha a feszültségeket vesszük figyelembe, a feszültségi ábra területét kell m_e -vel egyenértékűnek tekintenünk.

Hogy a feszültségeknek az ismételt igénybevételek folytán végbenő növekedését megismerjük, a próbadarab alakváltozásának törvényszerűségét kell ismernünk. Kísérleti eredményként közöljük, hogy a próbadarab megnyúlása ismételt húzások következtében ép olyan törvényszerűséget követ, mint a rendes húzásnál, azaz, hogy a próbatest egy bizonyos darabig egyenletesen nyúlik meg, ezután egyes keresztmetszetei változtatják meg méreteiket, végül a rúd kontrahál és a kontrahált keresztmetszetben el is szakad.

Addig a határig tehát, ameddig a próbatest egyenletesen deformálódik, a feszültség arányosan nő a keresztmetszet csökkenésével, azaz $\frac{p_1}{1+\lambda_1} = \frac{p_2}{1+\lambda_2}$.

Ebből következik, hogy e határig a feszültség változása annak az egyenes vonalnak törvényét követi, amely adódik, ha az abszcissa-tengelynek -1 -ben levő pontját az első igénybevétel ordinátájával, azaz az első feszültség végső pontjával kapcsoljuk össze, amint ezt a 22. VI. ábra mutatja. Minthogy a feszültségi ábra területe az előbbiek szerint az m_e -vel egyenlő, ez alapon most már a terület végső ordinátáját, $p_{e(i)}$ -t és végső abszcisszáját, $\lambda_{e(i)}$ -t meghatározhatjuk.

A 22. VI. ábrát szem előtt tartva, ezek értéke a következő:

$$a b d f = a b c + c b d f = m_e. \quad (60.)$$

Jelöljük az első igénybevétel feszültségét p_1 -el, az okozott megnyúlást λ_1 -el, s fejezzük ki a fenti képletben szereplő területeket:

$$a b c = (0,333 p_a + 0,667 p_1) \lambda_1 = m_1 \text{ és } c b d f = \frac{p_1 + p_{e(i)}}{2} (\lambda_{e(i)} - \lambda_1)$$

s mert az $o d f$ és az $o b c$ hasonló háromszögekből következik, hogy:

$$(1 + \lambda_{e(i)}) : (1 + \lambda_1) = p_{e(i)} : p_1,$$

azért:

$$1 + \lambda_{e(i)} = \frac{p_{e(i)}}{p_1} (1 + \lambda_1),$$

tehát:

$$\lambda_{e(i)} = \frac{p_{e(i)}}{p_1} (1 + \lambda_1) - 1. \quad (60/a.)$$

A nyert eredményeket a 60. képletbe helyettesítve:

$$m_e = m_1 + \frac{p_1 + p_{e(i)}}{2} \left(p_{e(i)} \frac{1 + \lambda_1}{p_1} - 1 - \lambda_1 \right),$$

ezt $p_{e(i)}$ szerint rendezve:

$$p_{e(i)}^2 = p_1^2 + (m_e - m_1) \frac{2 p_1}{1 + \lambda_1}. \quad (60/b.)$$

Abban az esetben pedig, ha az első igénybevétel feszültsége a folyási határnál kisebb, vagyis ha $\lambda_1 = 0$ és $m_1 = 0$, akkor:

$$\left. \begin{aligned} p_{e(i)} &= \sqrt{p_1^2 + 2 m_e p_1} \\ \lambda_{e(i)} &= \frac{p_{e(i)}}{p_1} - 1 \end{aligned} \right\} \quad 60/c.$$

E képletekből következik, hogy az ismételt igénybevételeknél a szivósság határánál érvényesülő feszültség az első igénybevétel feszültségének kisebbedésével csökken, az egyenletes nyúlás értéke azonban nő.

Eddig azt a megnyúlást vettük figyelembe, amelyben az egész rúd anyaga egyformán részt vett; a továbbiakban arra terjesztjük ki figyelmünket, amelyben az egyes keresztmetszetek egyenlőtlenül vesznek részt. Ennek a megnyúlásnak a nagyságát kísérletileg állapítottuk meg olyképp, hogy megmértük az elszakadt rúdnak átlagos átmérőjét a kontrahált helytől távolabb fekvő darabján s kiszámítottuk e megváltozott keresztmetszet (Δ_{min}) nagyságát. Most már a $\frac{\Delta_0}{\Delta_{min}} = 1 + \lambda_{max(i)}$ képlettel a megfelelő megnyúlást és a $\frac{P_1}{\Delta_{min}} = p_{max}$ képlettel az akkor érvényesülő feszültséget határoztuk meg s berajzoltuk a 22. VI. ábrába.

Ez ábrából kitűnik, hogy a $\lambda_{max(i)} - \lambda_{e(i)}$ darab annál nagyobb, minél kisebb $p_{e(i)}$ a p_c -hez képest, tehát minél nagyobb $\left(\frac{p_c}{p_1}\right)$ viszonya és ez azért van úgy, mert $\left(\frac{p_c}{p_1}\right)$ nagyobbodásával nő azoknak a szemcséknek a száma, amelyek a $p_{e(i)}$ határon túl még orientálódhatnak.

Mindaddig, míg a P_1 külső erő nagyobb a kontrahált keresztmetszetben a szakadás pillanatában érvényesülő P_c -nél, a $p_{max(i)}$ feszültség kisebb p_c -nél, de amint ez alatt marad, a feszültség is eléri a p_c értékét.

Kísérleteink szerint a szakadás pillanatában érvényesülő $p_c = \frac{P_c}{\Delta_c}$ feszültség mindig ugyanolyan értékű, mint a rendes húzásnál, ebből következik, hogy a képlékeny alakváltozásnak megfelelő feszültségi ábra területe az első igénybevétel feszültségének csökkenésével rohamosan nő, mert a p_c értéke a képlékenységnak függvénye, azért a feszültségi ábrának az a területe, amely $p_{e(i)}$ -től az elszakadásig terjed, a k és $\frac{p_e}{p_1}$ -nek a függvénye.

Az ismételt húzásnál észlelhető jelenségeket ismerve, áttérhetünk az ismétlések számának meghatározására. Az elmondottak szerint a feszültségi ábra két részből tevődik össze, ezért az igénybevételek számát is e két részre osztva vesszük majd figyelembe. Az első részére vonatkozólag kifejtettük, hogy ez mindig m_e értékű; a 71. pontban pedig arra az eredményre jutottunk, hogy állandó nagyságú hasznosított munka kifejtéséhez az igénybevételek száma az 59. képlettel fejezhető ki, ennélfogva a feszültségi ábra első részének megfelelő hasznos munka kifejtéséhez szükséges igénybevételek száma:

$$I_e = a \cdot m_e \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^{1/2}. \quad (60/d.)$$

Kísérleteink szerint $a = 1000$, az exponenciális függvény alapszáma tehát: $1000 m_e$.

A feszültségi ábra másik része k -tól és az igénybevétel nagyságától függ, miért is erre az előbbi képlet nem használható. De mert ezzel a területtel a legyőzendő munkát képviselő teljes ábra területe rohamosan nő, a 60/d. képlettel kifejezett ismétlések számának is sokszorozódnia kell. Ez okból az ismétlések teljes számára ezt a képletet állítottuk fel:

$$I_1 = I_e I_k = 1000 m_e \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^{1/2} \cdot I_k.$$

Az I_k függvényének meghatározása céljából e képletet logaritmusokkal fejeztük ki és ezt a $lg I_k$ szerint rendeztük:

$$lg I_1 - \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^{1/2} lg 1000 m_e = lg I_k.$$

Az ilykép nyert értékeket, mert a feszültségi ábra második része $\left(\frac{p_e}{p_1} \right)$ viszonytól függ, logaritmikus koordinátában, e viszony függvényeként vittük fel. Az eredmény másodfokú görbe volt, miért is ezt követőleg $\left(\frac{p_e}{p_1} \right)^{1/2}$ függvényében ábráztuk s ekkor majdnem egyenes vonalat kaptunk, amely a koordináta-rendszer kezdőpontjából indul ki, képlete tehát:

$$lg I_k = \left(\frac{p_e}{p_1} \right)^{1/2} tg \omega.$$

Minthogy $tg\omega$ állandó, feltehető, hogy ezzel az anyag sajátossága nyert kifejezést s mert a feszültségi ábra itt figyelembe veendő része az előbbieket szerint k -nak is a függvénye, ennél fogva valószínű, hogy $tg\omega = f(k)$ Többféle vasfajjal végzett kísérleteink szerint:

$$tg\omega = [1,4 \cdot k]^{1/2}.$$

Ez alapon az ismétlések számának képlete:

$$lg I_1 = \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right) lg 1000 m_e + \left(1,4 k \frac{p_e}{p_1} \right)^{1/2} \quad (61.)$$

vagy:

$$I_1 = 1000 m_e \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^{1/2} \cdot 10 \left(1,4 k \frac{p_e}{p_1} \right)^{1/2} \quad 61/a.$$

Hogy képletünk használhatóságát kimutathassuk, az V. táblázatban közöljük a kísérleti és a számított értékeket.

V. táblázat.

Az anyag jellemzői:		Ikt. sz. 493. $p_a = 30, p_e = 61, \pi_1 = 122,$ $\lambda_e = 0,16, tg^2\beta = 1,23,$ $m_e = 8,1$ és $k = 1 \sim 1,1$				Ikt. sz. 471. $p_a = 56, p_e = 110,$ $\pi_1 = 130 \sim 144, \lambda_e = 0,076,$ $tg^2\beta = 1,14, m_e = 6,7,$ $k = 0,23 \sim 0,36$		
Az igénybevételek száma: I .		20 34	77 110	154 630	1600	1 31	41 175	147
Az első igénybevételkor érvényesült	p_1	61	58 57,3	52,5 53,0	49,8	110	103 103	96 97
	λ_1	0,16	0,12 0,117	0,078 0,085	0,06	0,076	0,044 0,057	0,031 0,037
	$\left(\frac{p_e}{p_1} \right)$	1	1,05 1,06	1,165 1,15	1,22	1	1,06 1,06	1,148 1,135
Kiszámított	$p_{e(i)}$	61	60	56,6	54,4	—	—	—
	$\lambda_{e(i)}$	0,16	—	0,168	0,170	—	—	—
Kísérleti	$p_{max(i)}$	65	—	63	60	—	—	—
	$\lambda_{max(i)} = \lambda_\Sigma$	0,26	—	0,29	0,31	—	—	—
	$\lambda_{max(i)} - \lambda_{e(i)}$	0,10	—	0,122	0,14	—	—	—
Kiszámított I .		15 17	120 180	650 880	1450 1650	5	46 33	172 148

E táblázatból kitűnik, hogy az ismételt igénybevételek kísérleti száma egyazon határig terjedő terhelés esetén is nagy mértékben ingadozik. Ennek oka a szemcsék változó helyzete s a szemcse közötti kohézió ingadozása, ép ezért képletünk sem adhatja meg a kísérletek pontos számértékét, hanem csak a számhelyek számát.

Minthogy a táblázat szerint a számított értékek számjegyeinek száma megegyezik a kísérleti értékekkel, képletünk az ismételt igénybevételek törvényszerűségének jelzésére használható. Megjegyezzük azonban, hogy az igénybevételek száma az igénybevételek sebességétől is függ. Kísérleteinknél óránként 150—180 ismétlést végeztünk.

Bármily alacsony is a terhelés határa, egyes legkedvezőbb fekvésű szemcsékben mindig előállhatnak labilis alakváltozások; ezért ismételt igénybevételek következtében mérhető maradó alakváltozások észlelhetők, amelyek folytán a szemcsék szívósságukat veszítik. Azt a jelenséget, hogy t. i. alacsony határig terjedő ismételt erőhatások alatt egyes szemcsék deformálódnak, az anyag *kifáradásának* mondjuk.

A kifáradás jelensége annál hamarabb áll be, minél több csoport mozdul el. Az elmozdult csoportok száma pedig, amint már kifejtettük, az alkalmazott tehernek a legnagyobb erőhöz való viszonyától, illetőleg az azoknak megfelelő feszültségek viszonyától függ, de függ azonkívül a szívósságtól és a képlékenységtől, vagyis az alakíthatóság mértékétől is.

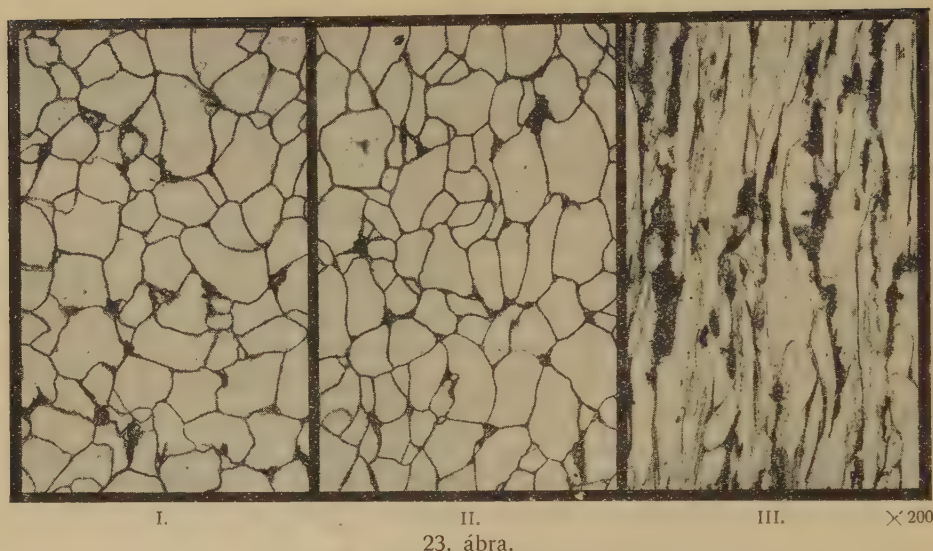
Nyomás esetén a maradó alakváltozások ép úgy indulnak meg, mint húzáskor. De mert a maradó alakváltozás következtében a tárgy keresztmetszete folyton nő, a fajlagos erő pedig folyton kisebbedik, ezért a labilis helyzetbe jutó csoportok száma folyton csökken. Nyomás esetén tehát a kifáradás jelensége csak késleltetve állhat be.

c) Az alakváltozások minőségének meghatározása mikroszkóppal.

7.1. A szemcse alakváltozásából az anyag mechanikai igénybevételére ép úgy következtetünk, mint az I. kötet 111. és 151. pontjában kifejtettek szerint a hőkezelésre.

Hogy azonban következtetéseinket rendszerbe foglalhassuk, a szemcse alakváltozására vonatkozó eddigi eredményeket összefoglaljuk.

Tudjuk, hogy húzás következtében szívós alakváltozásnál a szemcse megnyúlik, anélkül hogy elemi csoportjai elválának (I. a 25. p.); képlékeny alakváltozáskor ellenben a szemcse a kontraháló keresztmetszetben csak λ_2 értékig nyúlik, ezután pedig több részre oszlik. A húzás okozta szemcse-alakváltozás szemléltetése céljából a 23. és a 24. ábrát közöljük. Ezekből tisztán látható, hogy szívós alakváltozás folyamata alatt a szemcsék a tárgy hosszanti metszete síkjában (I. a 23. II. ábrát) megnyúlnak, a keresztmetszet síkjában pedig összezsugorodnak (I. a 24. II. ábrát) és hogy képlékeny alakváltozás következtében a hosszanti metszetben (I. a 23. III. ábrát) bizonyos fokú megnyúlás után több részre oszlanak,



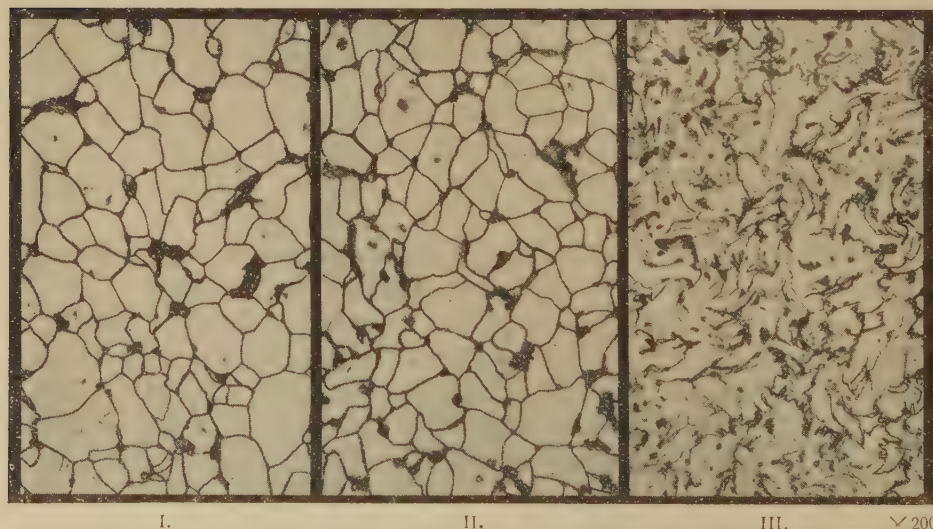
23. ábra.

A szemcse alakváltozása húzás esetén, a rúd hosszanti metszetében.

Az I. kép az eredeti anyagnak, a II. a λ_e határig megnyújtottnak, a III. a kontrahált résznek szemcséit mutatja.

miközben keresztmetszetük teljesen eltorzúl (l. a 24. III. ábrát). A szemcséknek a képlékeny alakváltozásnál érvényesülő legnagyobb megnyúlása, a λ_Σ , a 45/b. képlet szerint a következő:

$$1 + \lambda_\Sigma = (k + 1)(1 + \lambda_e).$$

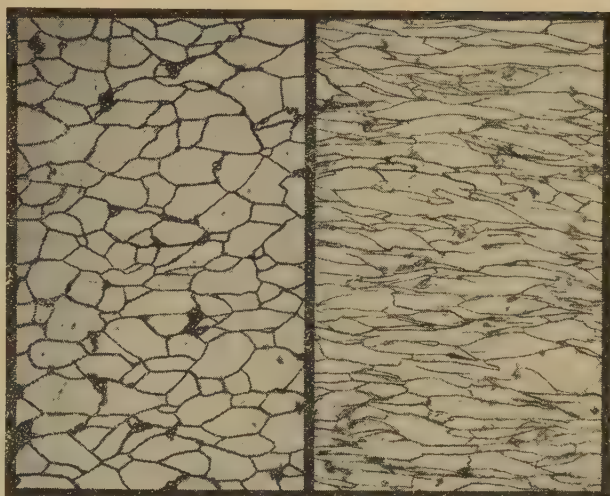


24. ábra.

A szemcse alakváltozása húzás esetén, a rúd keresztmetszetében.

Az I. kép az eredeti anyagnak, a II. a λ_e határig megnyújtottnak, a III. a kontrahált résznek szemcséit mutatja.

Nyomás következtében a 47. pont szerint, ha a tárgy méreteinek viszonya: $\delta_1 \geq d_1 \operatorname{ctg} \beta$, a szerszám alatt olyan részek vannak, amelyek csak a szerszám haladását követik; ennél fogva méretük változatlan, holott a többi szemcsék mérete az erő irányában csökkent, a rá normális síkban nő. Ez utóbbi szemcsék úgy a szívos, mint a képlékeny alakváltozásnál mindaddig egyenletesen nyúlnak meg, amíg a test alakváltozása egyenletes. Ebben az esetben az előbb említett λ_2 azért nem jut érvényre, mert nyomásnál az alakváltozás a test méretétől is függ. Hogy az itt végbemenő szemcsealakváltozásokat is szemlélhetőségűk, a 25. és 26. ábrákat közöljük. Ezekből kitűnik, hogy a szerszámmal haladó szemcsék méretei mindkét metszetben egyformák (I. a 25. I. és 26. I. ábrát). Ezek tehát maradó alakváltozást nem szenvedtek, miért is indokolt az 51. pontban kifejtett néze-



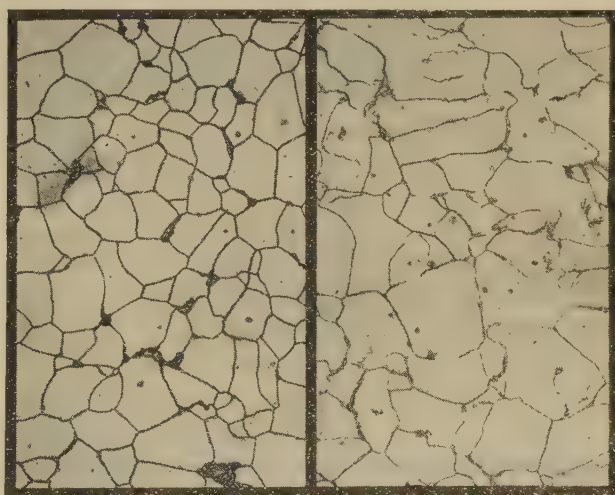
I.

25. ábra.

II.

× 200

A szemcsék alakváltozása a hosszanti metszet síkjában nyomás esetén, ha a tárgy méreteinek viszonya: $\delta_1 = d_1 \operatorname{tg} \beta$. Az I. kép a szerszámmal együtt haladó résznek, a II. a tárgy magasságának felében a palást közelében levő résznek szemcséit mutatja.



I.

26. ábra.

II.

× 200

A szemcsék alakváltozása a keresztmetszet síkjában nyomás esetén, ha a tárgy méreteinek viszonya: $\delta_1 = d_1 \operatorname{tg} \beta$. Az I. kép a szerszámmal együtt haladó résznek, a II. a tárgy magasságának felében a palást közelében levő résznek szemcséit mutatja.

tünk, hogy e szemcsék arányossági határa csekélyebb, mint az alakított szemcséké.

A 25. II. és 26. II. ábrákból pedig kitűnik, hogy az alakváltozásban résztvevő szemcsék a keresztmetszet síkjában kétirányú méretnövelést mutattak, a hosszanti metszetben pedig egyirányú növelést és egyirányú csökkenést. Ilyenkor a szívós alakváltozás a képlékenytől csak abban különbözik, hogy a szívós alakváltozásnál a szemcsék mindegyike megnyúlik, holott a képlékenynél egymásba hatolnak s ez okból több részre oszlanak.

Állandó erővel végzett ismételt húzás esetén, ha a feszültség az anyag rugalmassági határát túl nem lépi, a 71. pont szerint csak a legkedvezőbb fekvésű szemcséknek szélső csoportjai kerülnek majd labilis helyzetbe, ezzel tehát a rendezetlen helyzetű kapcsolódó csoportok száma mintegy nő, miért is mikroszkóppal nézve az ismétlések arányában a szemcsehatárok élénkülnek. Később, mert a csúszósíkok mentén fekvő csoportok is labilis helyzetbe jutnak, a szemcse belsejében szintén képződnek a szemcsehatárt jelző hálózatok. A kapcsoló csoportok számának e rohamos növekedése folytán a szemcse szívósságát veszti és dinamikai ellentállásra képtelen, miért is az ilyen állapotban levő anyagot *kifáradtnak* mondjuk (l. a 27. I. ábrát). A kifáradt anyag kilágyítással ismét rendes szemcsés szerkezetűvé tehető (l. a 27. II. ábrát).

Váltakozó húzó- és nyomóhatások esetén a 29. és 30. pontokban kifejtettek szerint más szemcsék alakulnak a húzó- és mások a nyomóhatások folytán. Ha e kétféle hatást követő szemcsék szomszédosak, a határukon levő elemeknek forgás okozta ütközése rohamosan nő, ez okból a kohézió e szemcsék között zérus értékűvé válhatik, vagyis hajszal-repedések állanak elő (l. a 27. III. ábrát), amikor is az anyagot *kimerültnek* mondjuk.

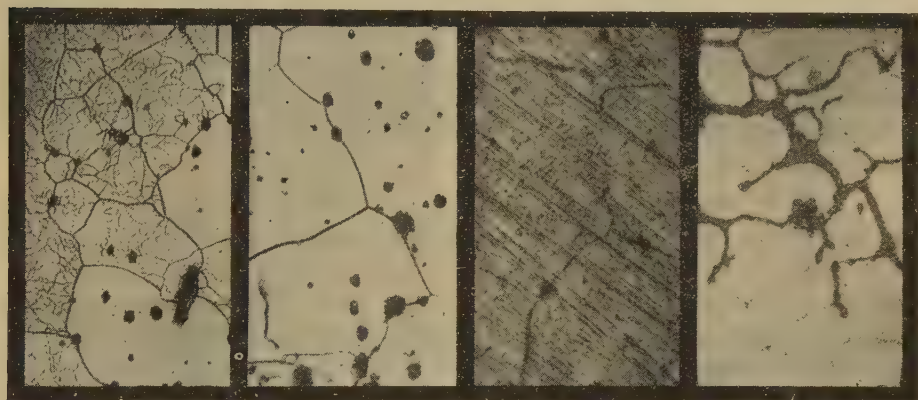
A kimerülés jelensége hasonlít a kezdődő korrózió jelenségéhez. Ez utóbbi azonban oxidálásnak vagy elektrolitikai maratásoknak a következménye és az előbbitől abban különbözik, hogy a szemcse közötti rések helyenként túlnagyok és hogy helyenként a szemcse anyaga is elpusztul (l. a 27. IV. ábrát).

75. A szemcse viselkedését ismerve, a mikroszkópi vizsgálat sorrendjére térhetünk át. Elsősorban igyekeznünk kell az eredeti, vagyis az igénybevételtől mentes anyagnak szövetszerkezetét meghatározni. Hogy e szövetszerkezetből a melegkezelés mikéntjéről s ezzel az anyag viselkedéséről tájékozódást nyerjünk, megállapítjuk a szemcse átlagos méretét, nemkülönben a szemcse hosszúságának (h) és szélességének (b) viszonyát.

Gondos kilágyítás esetén ugyanis $\frac{h}{b} \sim 1 \sim 1,2$. Az ilyen szemcsealakkal bíró anyag minden irányban egynemű, tehát rajta az előző mechanikai megmunkálás nyomait már nem találjuk.

Ha azonban $\frac{h}{b} = 1,2 \sim 1,4$, akkor ez annak a jele, hogy az előző megmunkálás folytán egy bizonyos fokú orientálódás visszamaradt. Ilyenkor az anyag rugalmassági határa a hosszúsági és a keresztirányban nem egyforma.

Ha $\frac{h}{b} > 1,5$, úgy ez arra vall, hogy az anyag a mechanikai műveletek után nem is lett kilágyítva s ebben az állapotban az anyag szívóssága a szemcse hosszúsága irányában lényegesen kisebb, mint a reá merőleges irányban. De nemcsak a szemcse méreteinek viszonya, hanem a szemcse átlagos mérete, vagyis $\frac{b+h}{2}$ értéke is mértékadó. Így például 0,4%-nál



I.

II.

III.

IV.

× 200

27. ábra.

A kifáradt, kilágyított, kimerült és a korróziós anyag mikroszkópi képe.

kisebb széntartalmú vasnál, ha az átlagos szemcseméret 0,025–0,030 mm-nél kisebb, az anyag szemcse közötti kohéziója a legnagyobb; ha az 0,050–0,060 mm között mozog, kohéziója még kifogás alá nem eshetik, de ha a szemcseméret 0,10–0,12 mm, akkor már a kohézió lényegesen kisebb, ha pedig az 0,2–0,3 mm, akkor az anyag kohéziója oly csekély, hogy váltakozó igénybevételnél csakhamar kimerül.

Az eredeti anyag szemcséinek nagyságát és méreteinek viszonyát $\left(\frac{h}{b} = a \cdot t\right)$ ismerve, felvesszük a kérdéses anyag szövetszerkezetének a képét, ez alapon megállapítjuk az igénybevett helyen a szemcsék átlagos méretét, valamint hossz- és keresztirányú méreteinek viszonyát: $\frac{h_1}{b_1} = a_1$, de megfigyeljük a szemcse határait is, valamint a szemcse belsejében látható elválkozásokat.

Ha a vizsgálandó helyről vett anyag szemcséinek átlagos mérete lényegesen nagyobb az eredeti anyag szemcséinél, ez a tény arra vall, hogy az anyag a kérdéses helyen a csoportosulás hőfokának hosszabb ideig volt kitéve, ha pedig a nagyra fejlődött szemcsék határai mentén korrózió észlelhető, ez magasabb hőfokon végbemenő oxidálásnak a jele. Lehetséges azonban az is, hogy a vizsgált helyről vett anyag szemcséinek mérete sokkal finomabb. Ez a jelenség kétféle módon állhatott elő, és pedig vagy húzóerő okozta erős képlékeny alakváltozás következtében, avagy olykép, hogy az anyag többször a kritikus hőfokig felhevült s gyorsan lehűlt.

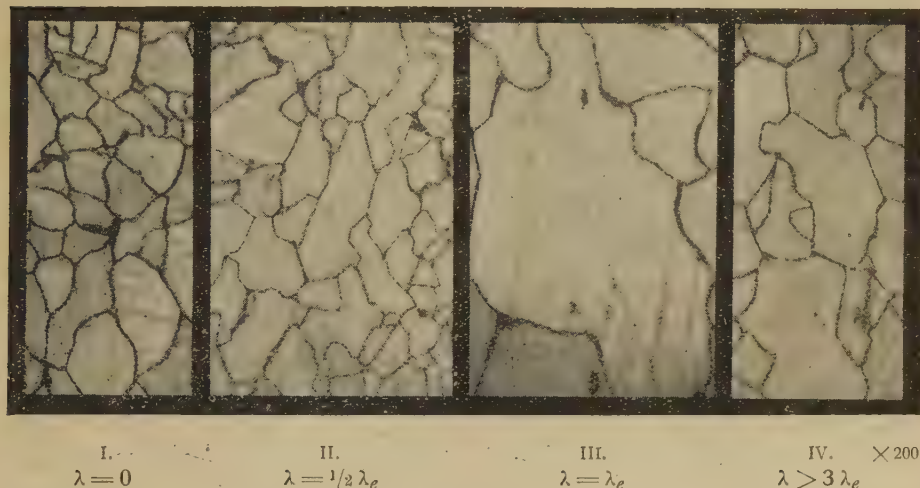
Amennyiben a szemcse méreteinek viszonya megváltozott, de a szemcsehatárok még tisztán láthatók volnának, úgy arra következtethetünk, hogy az anyag hidegen, szívóssága felhasználásával alakíttatott. Ilyen esetben meg kell figyelnünk azt is, hogy a méretnövelés hány síkban észlelhető. Ha csak egyben, akkor ez húzóhatásra vall, de ha kettőben, akkor nyomóhatásra. Abban az esetben pedig, ha a szemcsehatárok elmosódtak, kimondhatjuk, hogy méretei az anyag szívósságán túl, azaz már képlékenysége alapján változtak meg.

Az elmondottakból kitűnik, hogy mikroszkóppal az alakváltozások mértékét csak nagyjában állapíthatjuk meg. Ennek oka egyrészt abban rejlik, hogy az eredeti anyagban sem egyformák a szemcsék s így előfordulhat, hogy az eredeti anyag finom szemcséjű részeit hasonlítjuk össze az alakítottnak durvább szemcséjű részeivel; továbbá abban is, hogy a többirányú igénybevételeknél a feszültségek eloszlása nem egyenletes. Ha azonban a mikroszkópi vizsgálat előtt a SAUVEUR által ajánlott kilágyítási eljárást is alkalmazzuk, akkor tiszta képet kaphatunk a feszültségek eloszlásán kívül a feszültségek viszonylagos nagyságára vonatkozólag is.

SAUVEUR 1913-ban, az anyagvizsgálók Newyorkban tartott kongresszusán, a deformált lágyvasanyagnak 670°C -on 7 óráig tartó kilágyítását hozta javaslatba, mert azt tapasztalta, hogy ilyenkor a különböző mértékig deformált szemcsék igen különböző nagyságot érnek el. SAUVEUR azt a feszültséget, mely a szemcséket annyira deformálja, hogy e kilágyításakor a legnagyobbra nőnek, *kritikus feszültségnek* nevezi.

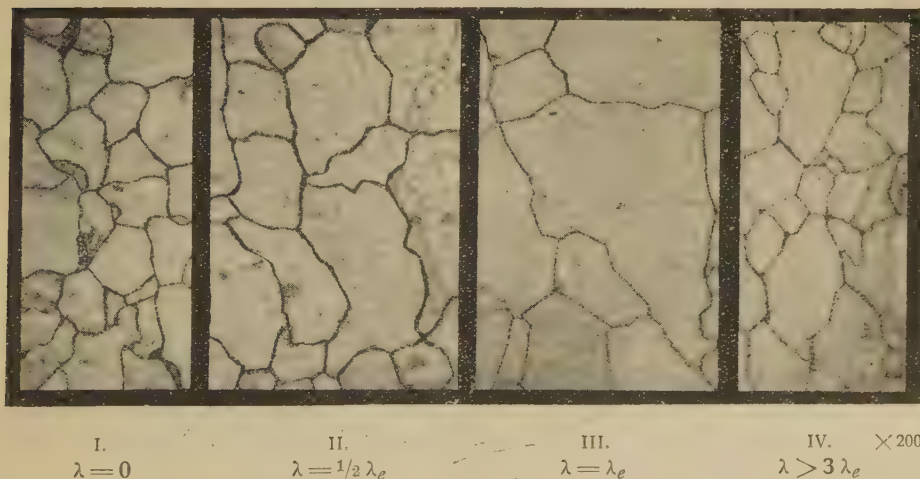
Minthogy az I. kötet 22. pontjában kifejtettük, hogy a kristályosodási hőfokon azok a szemcsék nőnek nagyobbra, amelyek tömege nagyobb, következik, hogy egyforma nagyságú szemcsék esetén azok fognak nagyobbra nőni, amelyek sűrűsége nagyobb. Már pedig a 17. pont szerint szívós alakváltozás következtében a szemcse sűrűsége nagyobbodik, ennél fogva az eredeti anyagnak egyforma nagyságú szemcséi közül kilágyításakor azok nőhetnek majd legjobban, amelyek alakváltozáskor a szívósság határát érték el. Minthogy pedig húzás esetén az egész rúdban p_c -nél nagyobb feszültséget nem okozhatunk, következik, hogy húzás esetén

a kritikus feszültség a húzókeménységgel, a p_e -vel egyenlő; nyomás esetén azonban, mert a feszültség q_e -től q_{max} -ig nőhet, a kritikus feszültségnek is határértékei vannak, t. i. a q_e -től q_{max} -ig tart. Annak igazolására, hogy



28. ábra.

A lágyvas szemcséinek hosszanti metszete, ha húzás után 7 óráig 670° C.-on lágyítottattott.



29. ábra.

A lágyvas szemcséinek hosszanti metszete, ha nyomás után 7 óráig 670° C.-on lágyítottattott.

a kritikus feszültség valóban az egyenletes nyúlás határánál ébredő feszültséggel azonos, a 28–29. ábrákat közöljük.

A 28. ábra I. képe az igénybe nem vett kilagyított anyag szemcséit mutatja; a II. képe azt, amelyet húzással annyira megnyújtottunk, hogy

fajlagos megnyúlása az $\frac{1}{2}\lambda_e$ értéket érte el. Ezen a képen a szemcsék jóval nagyobbak az előbbieknél, azonban még nagyobbaknak láthatók a III. képen: ezek ugyanis a λ_e határig megnyújtott anyag szemcséi, holott a IV. képen levők, melyek a kontrakcióig igénybevett anyag szemcséi, ismét kisebbek. A húzott rúd szemcséi tehát akkor nőnek legjobban, ha alakításkor a feszültség a p_e értékét érte el.

A 29-edik ábrából is ugyanaz tűnik ki. A nyomott próbatest szemcséinek mérete ugyanis a hosszanti metszetben akkor legnagyobb, ha a deformálás az egyenletes nyúlás határát elérte (l. a III. képet). Az ennél kisebb mértékben deformált anyag szemcséi (l. a II. képet) ezeknél kisebbek, de ép úgy kisebbek a IV. kép szemcséi, amelyek már képlékeny alakváltozást is szenvedtek.

Minthogy ez ábrákkal beigazoltuk, hogy a *kritikus feszültség* azonos az egyenletes nyúlás határánál érvényesülő p_e és q_e -vel, ez alapon a feszültségek eloszlását és nagyságát is megállapíthatjuk. E célból vegyük figyelembe a nagy mértékben meghajlított s SAUVEUR eljárása szerint kilágyított próbadarab szemcséit. E rúd belsejében finom szemcsék vannak, jelölül annak, hogy ez a réteg a legkevésbé lett alakítva. Ettől kezdve azonban egy darabig folyton nőnek a szemcsék, azután ismét kisebbednek, jelölül annak, hogy a feszültség a középrétegtől való távolsággal folyton nő. Az előbbieket szerint az egyenletes nyúlást jellemző p_e és q_e feszültség abban a rétegben érvényesült, amelyben a szemcsék a legnagyobbak, de mert a külső rétegben a szemcsék ismét kisebbek, kétségtelen, hogy az ott érvényesült feszültségek a p_e és a q_e értékeket túlhaladták.

Ha pedig a BRINELL-nyomásnak kitett s pótlólag a SAUVEUR eljárása szerint kilágyított anyagot vizsgáljuk, akkor a felszínnel párhuzamos metszetekben különféle finomságú szemcsékből alkotott köröket, az erre normális irányú metszetekben pedig parabolyszerű vonalakat látunk.

Ez eljárással tehát a feszültségnek mindkét síkban való eloszlását szemléltethetővé tehetjük és meghatározhatjuk azokat a méreteket is, ameddig a golyó hatása kiterjedt.

Ezek után megemlítjük, hogy abban az esetben, ha $a_1 = a$ s ha emellett a szemcse határai mentén szétválás észlelhető, váltakozó irányú igénybevételekre következtethetünk; ha pedig a szemcse határain belül a csúszó síkok iránya látható, vagy újabb hálózat látszik, akkor ebből sokszoros igénybevételekre kell következtetnünk.

A tér egy irányában ható erőhatásokat ismerve, a többirányú erőhatásokra térünk át.

B) A tér több irányában működő, lassan ható erők.

76. Külső erőhatást a tér több irányában a 31—33. pontok szerint kétféle módon fejthetünk ki: 1. minden irányban aktív erőkkel, vagy 2. egyes irányokban passzív erőkkel, t. i. az elmozdulásnak útját álló gátlásokkal. Minthogy testek alakításához főleg ez utóbbi csoportba tartozó erőhatásokat használunk föl, az alábbiakban főleg ezzel a csoporttal foglalkozunk s mert ilyenkor az alakítást végző aktív erő nyomóhatást fejt ki, az e csoportbeli erőhatások mindegyikét *módosított nyomásnak* fogjuk nevezni.

A többirányú aktív erőkkel is fogunk ugyan foglalkozni, de csak annyiban, amennyiben ezt az erőhatások tárgyalásának teljessége mulhatatlanul szükségessé teszi.

a) A módosított nyomás.

77. A rendes nyomás feltétele, hogy az akciós és a reakciós erők eredői a nyomott tárgy középső tengelyébe essenek és hogy a nyomólapok — a szerszámok — mindkét alkotó síkban (az xy és xz -ben) nagyobbak legyenek a tárgynál. Mihelyt e két feltételnek nem teszünk eleget, *módosított nyomással* van dolgunk.

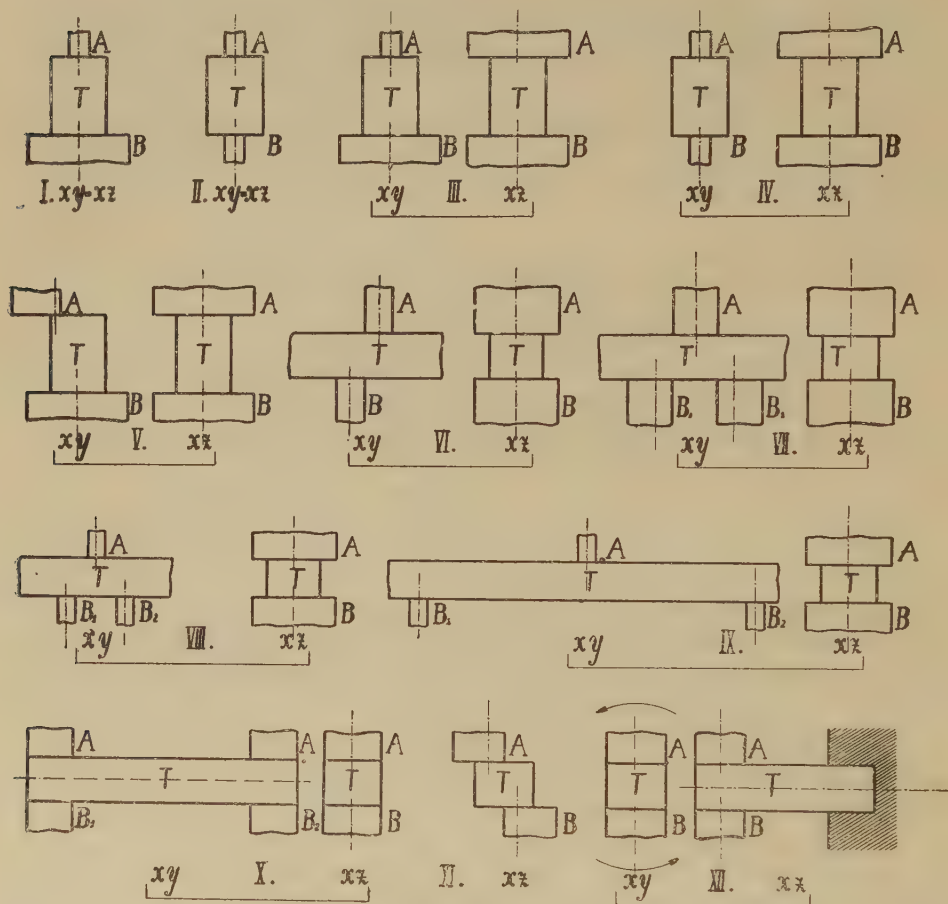
Tegyük fel, hogy az első feltételnek eleget teszünk ugyan, de a másodiknak nem és hogy a két nyomó szerszám közül egyelőre csak az akciósat kisebbítjük annyira, hogy az mindkét alkotó síkban kisebb legyen a tárgynál, mint azt a 30. ábra I. képe mutatja. Ezt az igénybevételi módot *szűrésnek* fogjuk nevezni; ha pedig mindkét szerszámot kisebbítjük, amint ezt a 30. ábra II. képén látjuk, akkor a módosított nyomást *szűrő megfogásnak* mondjuk.

Az előzőekben a szerszámok mindkét alkotó síkban kisebbek voltak a tárgynál. De ha ezek csak az egyikben, például az xy síkban kisebbek, a másikban pedig nagyobbak, akkor a szűrésből *vágás* (l. a 30. ábra III. képét), a szűrő megfogásból pedig *harapás* (l. a 30. ábra IV. képét) válik.

A vágásnál és a harapásnál az erők eredői egyirányúak; ha ezt a feltételt is megbolygatjuk azzal, hogy a szerszámokat egymáshoz képest az xy síkban eltoljuk, akkor az eltolások mértékéhez képest megváltoznak az igénybevételek. Ha pl. a szerszámot annyira eltoljuk, hogy ez a tárgy szélét túlhaladja, amint ez a 30. ábra V. képén látható, a vágásból *forgácsolás* lesz; ha pedig a harapó szerszámokat toljuk el az xy síkban annyira, hogy azok belső élvonalai egy síkba kerülnek, amint ezt a 30. ábra VI. képe mutatja, a harapásból *nyírás* lesz.

Mivel nyírásnál az xy síkban az eredők nem esnek össze, ezek a tárgyat elforgatják; az elforgatás azonban a nyírást befolyásolja, ezért meg-

gátlandó. Az utóbbi feladatnak eleget teszünk, ha a tárgynak a szerszámmal érintkező részét a szerszámmal kötjük, vagy ha az akciós szerszámokkal szemben két reakciót használunk, amint ezt a 30. ábra VII. képén látjuk. Ez utóbbi elrendezés esetén a nyírást *kettős nyírásnak* mondjuk. A kettős nyírást, ha a reakciós szerszámok élei zárt vonalat alkotnak, *lyukasztásnak* nevezzük.



30. ábra.

A módosított nyomás fajai.

A kettős nyírásból a reakciós szerszámoknak az xy síkban való további eltávolítása esetén *hajlítás* lesz, amelyet akkor, ha a szerszámok közötti köz kisméretű, *rövid karon való hajlításnak* (l. a 30. ábra VIII. képét), ha pedig e köz nagyméretű, *hosszú karon való hajlításnak* szokás nevezni (l. a 30. ábra IX. képét).

A módosított nyomásnak még további két fajtát kell megkülönböztetnünk. Ha ugyanis a harapás műveletét nem a tárgy közepén, hanem

annak két végén egyidejűleg visszük véghez, amint ezt a 30. ábra X. képén láthatjuk, ez eljárást *harapó megfogásnak* mondjuk. Ha pedig a szerszámokat az xz síkban egymáshoz képest annyira eltoljuk, hogy éleik egy egyenesbe jussanak, amint ezt a 30. ábra XI. képe mutatja, az eredők az xz síkban levő nyomatéki karuk következtében a tárgyat annak *hosszanti tengelye* körül elforgatják; ha a tárgy egyik végén levő harapó szerszámot az elforgatás ellen megrögzítjük, a tárgy *elcsavarodik*, miért is ezt az igénybevételt *csavarásnak* mondjuk. Csavarás különben akkor is jó létre, ha a harapó szerszámokat nem toljuk el az xz síkban, hanem a tárgy egyik végén levő szerszámot a tárgy tengelyével összeeső tengely körül elforgatjuk. (L. 30. XII. ábrát.) Ez utóbbi mód használata alkalmasabb.

Az elmondottak szerint a módosított nyomás jellemző fajai a következők: α) a szúrás és a szúró megfogás, β) a harapás és a harapó megfogás, γ) a nyírás és a lyukasztás, δ) a rövid és a hosszú karon való hajlítás, ϵ) a csavarás és végül ζ) a vágás és a forgácsolás.

A többirányú erők a 36. pontban kifejtettek szerint a testben csak méretnövelést és méretcsökkenést okoznak, azért hatásukat mindenkor húzó- és nyomóhatásokból ítéltethetjük meg. Figyelembe kell azonban vennünk, hogy többirányú erők hatása következtében a húzott vagy a nyomott rész elmozdulásának irányvonalai lényegesen megváltoznak. Változásuk törvényszerűségére útmutatást nyújtanak a felszíni rajzok, miért is a következőkben a felszíni rajzokkal behatóbban foglalkozunk.

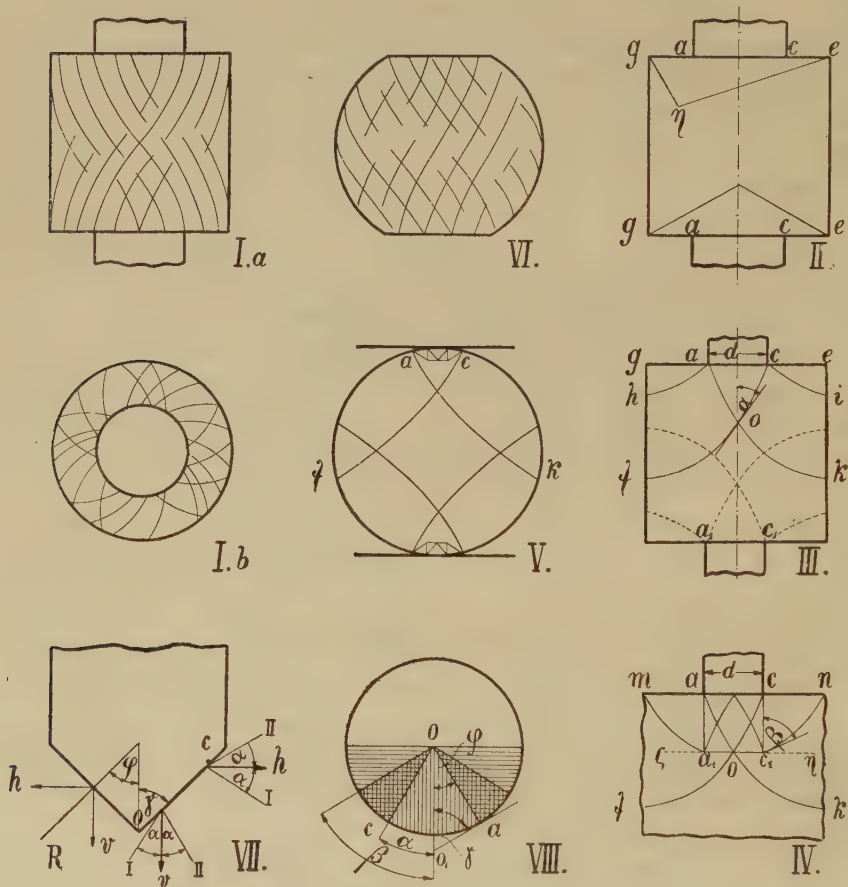
α) A szúrás és a szúró megfogás.

78. Szúrásnál a végbemenő erőhatásokról a Hartmann-féle felszínrajzok nyújtanak kellő útmutatást. Hartmann kísérleti eredményét a 31. ábra Ia. és Ib. képén mutatjuk be. E kísérletéhez HARTMANN oly próbatestet használt, melynek magassága az átmérővel egyenlő, a szúrószerszám átmérője pedig félakkora volt.

A 31. I. ábrából kitűnik, hogy ilyen viszonyok között a paláston keletkező csavarvonalak érintői, a nyomóerő irányából nézve, csak a középső keresztmetszet táján zárnak be olyan szöget, amekkorát rendes nyomásnál, vagyis a 2α szöget, amely 90° -nál kisebb; a középső keresztmetszettől a homloklapok felé haladva azonban e szög nagysága folyton kisebbedik. Ez ábrából kitűnik továbbá, hogy felszínrajzok nemcsak a paláston, hanem a homloklapon is keletkeznek, csak hogy ez utóbbiak logaritmikus-vonal alakúak és a felszín ezek mentén behorpadt, holott a paláston levő csavarvonalak mentén a felszín kiduzzadt. E duzzadás jelensége alapján kétségtelen, hogy a palást felületét nyomóerők, a homloklapot pedig húzóerők alakítják.

Minthogy a külső erő közvetlenül nyomást fejt ki, a húzóhatás

csakis a gátlóanyagok folytán ébredhet, még pedig úgy, hogy a szerszám alatt levő ac anyag a szerszámmal beljebb hatol (l. a 31. II. ábrát). Ámde, amint az ac rész tovahalad, távolodik az ag és ce -vel jelzett gyűrűtől s ezzel e részek között méretnövelés, tehát húzófeszültség érvényesül, amelyet ugyancsak a külső erő kénytelen legyőzni.



31. ábra.

A szűrésnél és a szűrőmegfogásnál érvényesülő irányvonalak.

Eredményként kimondhatjuk tehát, hogy szűrő-megfogás esetén *két-irányú erőhatással van dolgunk, még pedig tengelyirányú nyomással és sugárirányú húzással.*

Az erők ismerete alapján meghatározhatjuk a test tengelyén áthaladó fősíkokban az elmozdulások irányvonalait is.

A 6. pont szerint a jellemző szöget az elmozdulás iránya a külső erővel alkotja. De ha a fősíkokban ez erőn felül gátló erő is hat, az elmozdulás iránya ezek eredőjével alkotja majd ezt a szöget. Több-

irányú erők esetén tehát az elmozdulás irányának változására csak az eredő irányváltozásából következtethetünk. Az eredő irányváltozását a 31. II. ábra segítségével a következő megfontolással vezethetjük le: Minthogy a tengely irányában fekvő anyagrészek az e és g pontoktól egyenlő távolságban vannak, ennél fogva azok lefelé haladásuk következtében két egyenlő nagyságú, de ellenkező értelmű, sugárirányú húzófeszültség hatása alatt állanak. Ezek a nyomófeszültséget semmiben sem befolyásolhatják, miért is az elmozdulások irányvonalai a tengelyben ép olyan szög alatt haladnak, mint a rendes nyomásnál.

A tengelyen kívül fekvő pontokra ható húzófeszültségek azonban nem egyformák. A bal oldalon fekvő pontok húzófeszültségei közül a balra haladók a nagyobbak, mert a 31. II. ábrán $g\eta$ -val jelölt hosszúság kisebb az $e\eta$ -nál, ennél fogva egy bizonyos bemélyedéskor a $g\eta$ fajlagos megnyúlása s így feszültsége is nagyobb. *A középvonaltól balra fekvő anyagi pontokra vonatkozólag tehát a nyomófeszültségen kívül balirányú húzófeszültséget is kell figyelembe vennünk.* E nyomó- és húzófeszültség eredője a balirányú húzóerő miatt a nyomóerő irányához képest balra dül, míg a jobb oldalon fekvő pontokra ható erők eredői jobbra dülnek, még pedig annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a húzófeszültség. Minthogy pedig a fajlagos megnyúlás s így a húzófeszültség is annál nagyobb, minél közelebb fekszik a pont a homloklaphoz és a palásthoz, ezért az irányvonalak hajlásszöge is, a tengelytől a palást felé haladva, fokozatosan növekedő ϵ szöggel tér el az α -tól, tehát elhajlásának szöge a nyomóerőhöz képest: $\alpha - \epsilon$. Ezeket tudva, állapítsuk meg például a c -ből kiinduló irányvonal alakját.

Minthogy a c pont a homloklapon és a középtengelytől jobbra fekszik, a húzófeszültség itt nagyértékű és jobbirányú, miért is az irányvonal a nyomóerőhöz képest $\alpha - \epsilon$ szöggel, vagyis igen meredeken kezdi pályáját. Útjában olyan pontokhoz ér, amelyek a homloklaptól távolabb, a tengelyhez pedig közelebb fekszenek. Az ilyen pontokban a húzófeszültség folyton kisebb, ezért kisebbedik az ϵ szög is, minek folytán az irányvonal meredeksége csökken. A tengelyben fekvő pontokban az ϵ szög zérus értékűvé válik, az irányvonalak tehát a tengellyel a rendes α szöget zárják be; a tengelytől balra fekvő pontokban azonban az eredő balra dül, ezért ez irányvonal fokozatosan növekedő szöggel tér el eddigi irányától. A figyelembe vett irányvonal tehát a szerszámhoz képest homorú alakot nyer.

A c pontból kiinduló, de jobbra haladó irányvonalak kezdeti része, az $\alpha + \epsilon$ tehát az eredeti irányhoz képest kevésbé meredek szög alatt indul meg, s mert útjában a palásthoz közelebb fekvő pontokhoz ér, az ϵ szög nő, ennél fogva az irányvonal laposabbá válik s így az irányvonal a homloklaphoz képest homorú lesz.

Hasonló módon vezethetjük le az a -ból, valamint az a_1 - és a c_1 -ből

kiinduló irányvonalak alakjait is. Ezek együttesen adják a 31. III. ábrával jelzett hálózatot.

Az irányvonalak hálózatából igen fontos következtetésre jutunk, nevezetesen arra, hogy *szűrés esetén a szerszám alatt levő a c o rész ép úgy kénytelen a szerszám útját követni, mint a rendes nyomásnál, ámbar az a o és c o felületek nem síkok, hanem görbe felületek.*

79. Az elmozdulások irányvonalainak hálózatából az alakváltozáshoz szükséges külső erő értékére is következtethetünk. A 31. III. ábrából ugyanis kitűnik, hogy a tárgy középső keresztmetszetének átmérője ép úgy megnyúlik, mint a rendes nyomásnál. Ez pedig kétségtelen bizonyítéka annak, hogy az elmozdulások a szerszám szélső támadó pontjából kiindulva *cf, ah és ak, ci* irányvonal mentén mennek végbe s mert ezek a palástig érnek, a palást $fh = ik$ széles gyűrűje deformálódni fog. Ennek a gyűrűnek felülete: $fh \cdot D\pi = d \cdot \psi(\beta) \cdot D\pi$, holott, ha rendes nyomást végzünk, a deformálódó palástfelület: $D \cdot tg\beta \cdot D\pi$.

Mint hogy az erők az alakítandó felülettel arányosak, azért

$$Q_{ny} : Q_{sz} = D \cdot tg\beta \cdot D\pi : d \cdot \psi(\beta) \cdot D\pi = D \cdot tg\beta : d \cdot \psi(\beta),$$

$$\text{tehát: } Q_{sz1} = Q_{ny} \cdot \frac{d_1}{D} \cdot \frac{\psi_1(\beta)}{tg\beta} \quad \text{és} \quad Q_{sz2} = Q_{ny} \cdot \frac{d_2}{D} \cdot \frac{\psi_2(\beta)}{tg\beta} \quad \text{stb.} \quad (62.)$$

E két egyenlet osztásából kapjuk:

$$Q_{sz2} = Q_{sz1} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{\psi_2(\beta)}{\psi_1(\beta)}.$$

A $\psi(\beta)$ érték meghatározása céljából olyan próbatesteken végeztünk *szűrőmegfogást*, amelyek alakja megfelelt a HARTMANN által használt próbatesteknek. Kísérleteink eredményét a VI. táblázatba foglaltuk.

VI. táblázat.

A kísérletekhez felhasznált anyag jellemző adatai a következők: 439. sz. $p_a = 23 \text{ kg/mm}^2$, $p_e = 42,9 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_e = 0,20$, $q_a = 31$, $q_e = 54 \text{ kg/mm}^2$, $tg^2 \beta_e = 1,285$																			
A kísérlet sorszáma: x	A tárgy át- mérője $D \text{ mm}$	A szer- szám át- mérője d_x	Q kísérleti értékei			$\frac{d_x}{D}$	$\frac{Q_{sz(x)}}{Q_{ny}}$		$\frac{d_x}{d_2}$	$\frac{Q_{sz(x)}}{Q_{sz(2)}}$									
			$\lambda = 0,0$	$\lambda = 0,05$	$\lambda = 0,1$		$\lambda = 0,0$	$\lambda = 0,05$		$\lambda = 0,1$									
			esetén				esetén			esetén									
1.	Minden kísérletnél $D = 23,75 \text{ mm}$. és a tárgy magassága az átmérővel volt egyenő	23,75	$Q_{ny} \text{ kg.}$			1	1	1	—	—	—	—							
		10430	14700	—															
		$Q_{sz} \text{ kg.}$																	
2.		18,0	8310	11700	14250								0,758	0,796	0,795	1	1	1	1
3.		11,95	5900	7480	9150								0,503	0,566	0,508	0,664	0,71	0,639	0,644
4.	5,92	—	3200	3720	0,249	—	0,217	0,329	—	0,273	0,262								
5.	3,05	—	—	—	0,128	—	—	Csak a homloklap duzzadt.											

Minthogy a kísérleti tárgy anyaga szívós, a 62. és a 62/a. képletben szereplő nyomó- (Q_{ny}) és szűrő- (Q_{sz}) erők gyanánt az azonos méretváltozásokat okozó erők veendőek számításba. A szűrésnél azonban a külső erő saját irányban végzett útjának (s) viszonyát az átmérő méretnöveléséhez (λ) még nem ismerjük, azért azt, a $d = \frac{1}{2}D$ szűrőszám alkalmazása esetére, többszörös tehermentesítéssel meghatároztuk s úgy találtuk, hogy: $\lambda = \frac{0,312}{D} \cdot s$, vagyis: a szerszám-bemélyedés az okozott méretnöveléssel lineáris.

Rendes nyomás esetén ez a lineáris összefüggés csak kismértékű alakváltozásokra alkalmazható, de mert a szűrésnek most tárgyalott módja szintén csak kisméretű alakváltozásokra használható, ezért a lineáris összefüggést a VI. táblázatba foglalt összes kísérleteknél alkalmaztuk.

A VI. táblázatból kitűnik, hogy abban az esetben, ha $d = 0,758 D \sim \sim 0,503 D$, a külső erők viszonya közel olyan, mint a szerszám átmérőinek viszonya, amiből következik, hogy $\psi(\beta) \cong tg \beta$, miért is a szűrőerő képlete így írható:

$$Q_{sz} = Q_{ny} \cdot \frac{d}{D}. \quad (62/a.)$$

De mert $Q_{sz} = \frac{d^3 \pi}{4} \cdot q_{sz}$ és $Q_{ny} = \frac{D^3 \pi}{4} \cdot q$, ezért ez értékek helyettesítéséből nyilvánvaló, hogy:

$$q_{sz} = q \cdot \frac{D}{d}. \quad (62/b.)$$

A VI. táblázatból kitűnik továbbá, hogy a 62/a. képlet már nem érvényes, ha $d = 0,249 D$ méretű és hogy a palást deformálódása teljesen megszűnik, ha $d = 0,128 D$ -re csökken.

Minthogy ez utóbbi esetben a homloklap duzzad, a palást pedig változatlan marad, ezért a következőkben ennek a jelenségnek az okát fogjuk keresni.

80. E célból feltesszük, hogy a test D mérete s ezzel magassága is sokkal nagyobb a szerszám d méreténél. Ilyen esetben a 62/a. képlet szerint a cf irányvonal mentén az elmozdulás csak akkor állhat be, ha az erő már akkora, hogy a test átmérőjével arányos. Mindaddig, míg az erő ezt az értéket el nem éri, az elmozdulás nem érvényesül ugyan, de a feszültségek fennállanak. A belső feszültségek hatása révén a szerszám alatt levő, a 31.IV. ábrán az aco -val jelölt részek, a testbe behatolni törekszenek, de mindama részek, amelyek a fősíkban az o ponton átmenő, az ac -vel párhuzamos $\zeta\eta$ vonal alatt vannak, útjokat állják. Minthogy az ac lap akciót, a $\zeta\eta$ lap pedig reakciót fejt ki, a kettő az acc_1a_1 részt összenyomja.

Az ábrából kitűnik, hogy e részben az elmozdulások főbb irányvonalainak metszéspontja ugyanolyan helyzetű, mint szabályos nyomás

esetén az olyan testnél, amelynek magassága $\delta = 0,5 d \operatorname{tg} \beta$. Ilyen testnél a 16. IV. ábra útmutatása szerint az aa_1 s cc_1 mentén fekvő részek a külső erő irányára normális síkban mozdulnak el; ép ezért a szűrő szerszám alatt összenyomott résznek az aa_1 s cc_1 alkotók pontjai is kénytelenek a külső erőre normális irányban elmozdulni.

Ezt az elmozdulást az alkotókkal érintkező anyag gátolja s így a nyomásból eredő sugárirányú feszültség erre a környező anyagra szekundér hatásként nyomást fejt ki, amely a saját irányához α szög alatt mozdítja ki az anyagot.

Az a_1 -ből s a c_1 -ből tehát a szabad oldal felé hajló α szög alatt indul meg az elmozdulás, amelynek iránya a már ismertetett okból folyton változik és végül a_1m és c_1n görbévé válik.

A szerszám alatt végbemenő elmozdulásokat ismerve, állapítsuk meg, mekkora feszültség szükséges ezekhez. Minthogy az aa_1m és a cc_1n anyagmennyiség a szabad felszín irányában akadálytalanul mozdulhat el, az aa_1 és a cc_1 felületre csupán akkora feszültség alkalmazandó, mint a rendes nyomásnál, azaz: q . Ezt a q sugárirányú feszültséget azonban a homloklapra gyakorolt nyomással kell kifejttenünk, miért is a 31. pont szerint a homloklapra $q \operatorname{tg}^2 \beta$ feszültségtöbblet alkalmazandó. Az ac nyomólapra tehát a rendes alakváltozáshoz szükséges q feszültségen felül még $q \operatorname{tg}^2 \beta$ feszültségtöbblet fejtendő ki, vagyis a szűrő feszültség:

$$q_{sz} = q + q \operatorname{tg}^2 \beta = q(1 + \operatorname{tg}^2 \beta). \quad (63.)$$

A technológiában a szűrésnek ez utóbbi fajtát használjuk leginkább, ezért a 63. képlet alapvető fontossággal bír.

Most még azt óhajtjuk megállapítani, hogy mily viszonyok között léphet érvényre a palást duzzadása és milyenek között a homlok-lapé. Az erre vonatkozó feltételi egyenletet megkapjuk, ha a 62/b. és a 63. egyenletekből kifejezett q_{sz} értékeit egy egyenletbe foglaljuk:

$$q_{sz} = q(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) = q \frac{D}{d}$$

ebből:

$$\frac{D}{d} = (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (63/a.)$$

Mindaddig, míg

$$\frac{D}{d} < (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (63/b.)$$

$$\text{a palást fog duzzadni, de mihelyt } \frac{D}{d} > (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (63/c.)$$

a homloklap duzzadása áll be s e jelenség teljesen összhangban van a VI. táblázatban közölt kísérleteink eredményeivel.

A szűrés két fajtát ismerve, ezek további változataira térünk át.

81. A szűréshez eddig oly szerszámokat használtunk, amelyek nyomólapja a tárgy felületénél kisebb volt. Lehet azonban a szűrást nagy-

méretű nyomólapokkal is végezni, ha a test gömb-, vagy gömbded-alakú, amint ezt a 31.V. ábra mutatja. Ilyenkor a szerszám s a tárgy kezdő érintkező felülete kisméretű, ennél fogva kezdetben a 80. pontban tárgyalt jelenségek érvényesülnek. Alakítható anyagok esetén tehát a homloklap duzzadása folytán a nyomófelület folyton nőni s ezzel a $\frac{D}{d}$ viszony

csökkenni fog; de ha annyira csökkent, hogy $\frac{D}{d} < (1 + tg^2 \beta)$, akkor már a palást kezd duzzadni. Ezt a jelenséget igazolja HARTMANN-nak golyóval végzett kísérlete, amelynek felszín-rajzait a 31.VI. ábra láttatja.

Rideg anyag esetén a homloklapokon végbemenő elmozdulással egyidejűleg a testből a 31.IV. ábrán az ma_1c_1n irányvonalak által határolt rész kireped (l. a 31.V. ábrát is), minek következtében nő az érintkezés

felülete s ha ez a 63/b. képlet értelmében annyira nőtt, hogy $\frac{D}{d} < (1 + tg^2 \beta)$, az elmozdulás a 31.V. ábra szerint a cf és az ak irányvonalak mentén áll be, csakhogy ugyanekkor a test ez irányokban egészen elreped.

Rideg anyagokat tehát ezzel az eljárással aprítani lehet. Az aprításhoz szükséges erőt az *arányos testek törvénye* segítségével határozhatjuk meg. Megmérjük a kisméretű gömb átmérőjét (D_1) és a törés pillanatában a ható erőt (Q_1), ekkor a bármely más átmérőjű (D_2) gömbded test töréséhez szükséges erőt (Q_2) a következőképen fejezhetjük ki:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2.$$

82. A szűrés végzéséhez az előző pontok szerint oly szerszámot használtunk, amelynek nyomó felülete a szerszám haladása irányával 90° szöget alkotott. Ezt a szöget a következőkben a *szerszám metsző-szögének* fogjuk nevezni s γ -val fogjuk jelölni.

Eddig tehát $\gamma = 90^\circ$ metszőszögű szerszámmal foglalkoztunk, a következőkben tegyük vizsgálatunk tárgyává, hogy $\gamma < 90^\circ$ metszőszögű szerszámmal a szűrést végezhetjük-e?

A szűrő szerszám alakját abban az esetben, ha $\gamma < 90^\circ$, a 31.VII. ábra teszi szemlélhetővé. Minthogy a szerszámnak az érintkező felületre kifejtett ereje mindig normális, így ez a jelen esetben az R vonal irányával azonos. Az előbbi pontokban tárgyalt eseteknél azonban az elmozdulást a vertikális irányban haladó erő okozta. Hogy tehát levezetéseink az előzőkkel összehasonlíthatók legyenek, az R külső erőt *vertikális* (v) és *horizontális* (h) komponenseire osztva fogjuk vizsgálni.

E komponensek nagysága:

$$v = R \cdot \sin \gamma = R \cos \varphi,$$

$$h = R \cdot \cos \gamma = R \sin \varphi.$$

Mindkét komponens az irányába eső anyagra nyomást fejt ki, ennél fogva az elmozdulások irányvonalai e komponensek irányvonalával az α és a $180^\circ - \alpha$ szöget alkotják, amint azt a 31. VII. ábra jobb oldalán feltüntettük. A középvonal felé haladó irányvonalak mentén azonban az elmozdulások csak akkor érvényesülhetnek, ha ezt a szerszám meg nem akadályozza.

A ν komponens I. irányvonala mentén például az elmozdulás akkor válik lehetetlenné, ha a szerszám oc lapja összeesik az I. irányvonallal, vagyis, ha a γ metszőszög egyenlő vagy kisebb az α szögénél: $\gamma < \alpha$.

A h komponens II. jelű irányvonala mentén pedig az elmozdulás akkor lehetetlen, ha a szerszám oc lapja összeesik annak II. irányvonalával, vagyis ha $\gamma > 90^\circ - \alpha = \beta$, azaz, ha $\gamma > \beta$.

Minthogy abban az esetben, ha a komponens elmozdulást nem okozhat, az egész komponens hatástalan, ennél fogva a fenti egyenletek a komponens *hatástalanságának határait* jelzik. A talált határszögek kiegészítő szögei tehát a *komponensek hatásának* határait adják meg.

Eszerint addig, míg $\gamma \cong 90^\circ - \alpha = \beta$, a ν komponens hat és ha $\gamma \cong 90^\circ - \beta = \alpha$, a h komponens érvényesül. Ezekből következik, hogy:

$$\left. \begin{array}{l} \text{ha } \gamma = \alpha \sim \alpha, \quad \text{akkor csak a } h \text{ hatásos;} \\ \text{ha } \gamma = \alpha \sim \beta, \quad \text{akkor mindkét komponens hat; míg} \\ \text{ha } \gamma = \beta \sim 90^\circ, \quad \text{akkor csupán a } \nu \text{ komponens.} \end{array} \right\} \quad (64.)$$

Így tehát a kúpos szerszám hatása ugyanolyan lehet, mint a 90° fokúé, csak hogy a szerszám metszőszögének kisebbedésével a homlok-lap duzzadása fokozódik.

A gépiparban a szűrással való jelzéshez a $\gamma = 45^\circ$ metszőszögű kúpot ép ez utóbbi tulajdonságáért használják.

Az előzőekben az állandó metszőszöggel bíró szerszámokat vettük figyelembe, most pedig a változó metszőszögű szűrőszerszámokra térünk át. A változó metszőszöggel bíró szerszám legegyszerűbb alakja a gömb, amelynek a fősíkkal való metszete kör, amint ez a 31. VIII. ábrán látható.

Ha a kör a testbe az ac szelvényig hatol be, a metszőszög a tengelyirányban 90° , de az a és c pontok felé haladva, a szög kisebbedik. Legkisebb értéke a szélső érintkezési pontokban van: ennek a legkisebb szögnek számértékét megkapjuk, ha a -ban és c -ben az érintőket meghúzzuk.

A metszőszögnek így módon való meghatározása nehézkes, de mert az $o_1 a o$ derékszögű háromszögből következik, hogy $\gamma + \varphi = 90^\circ$, ezért a metszőszög helyett a könnyen meghatározható központi szöget vesszük majd figyelembe. A 64. egyenleteket e célból φ -re vonatkozólag kifejtve kell alkalmaznunk s akkor azokból a következő eredményt vezethetjük le:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Egyedül a } h \text{ komponens akkor hat, ha } \varphi = 90^\circ \sim \beta, \\ \text{mindkét komponens akkor, ha } \varphi = \beta \sim \alpha, \\ \text{csupán a } \nu \text{ hat, ha } \varphi = \alpha \sim 0^\circ \text{ értékű.} \end{array} \right\} \quad (64/a.)$$

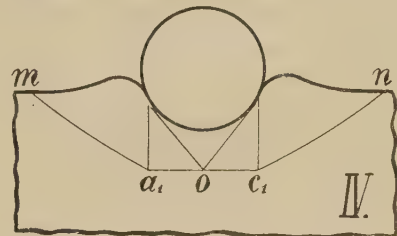
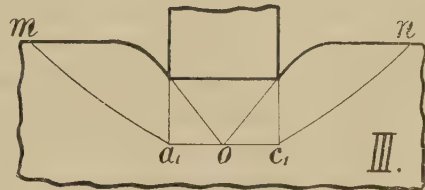
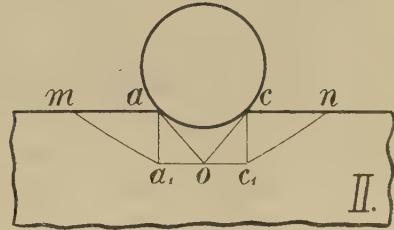
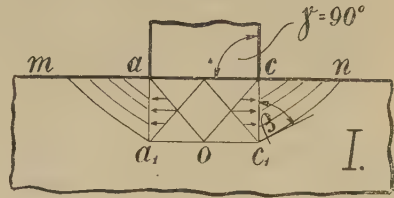
A 31. VIII. ábrában a ható komponenseket a φ szög függvényében tettük szemléltetőkké.

Fejtegetéseink eredményeként tehát kimondhatjuk, hogy a kúppal vagy a gömbalakú szerszámmal teljesen azonos szúróhatást fejthetünk ki, ha arra ügyelünk, hogy γ *nagyobb legyen β -nél*, illetőleg arra, hogy φ *kisebb legyen α -nál*.

83. Ambár a szúrással járó elmozdulások irányvonalai alapján a rideg és alakítható anyagok alakváltozásának jelenségeit már ismerteknek kell tartanunk, mégis szükségesnek látjuk, hogy ezeket itt röviden érintsük.

Rideg anyag esetén a 32. I. és II. ábrán ma_1c_1n -nel jelölt felület mentén az elmozdulással egyidejűleg a szemcseközzéti kohézió (π_1) győzetik le, ez a rész tehát kitörik.*) Ez okból a vas-tag tüköruvegtáblára dobott kő az ütközés oldalán tör ki kagylószerű részt; ugyanezen okból törik ki a martensites vagy cementites páncéllemezéből a lövedékkel érintkező rész. Rideg anyagok e kitörését a bányaiparban kemény kőzetek robbantásához szükséges lyukak (furatok) készítésére használják fel, ilyenkor azonban a szerszám vésőalakú.

Szívós anyagok esetén az ma_1c_1n darab elmozdulása következtében a felszín duzzad, ámde ugyanakkor, mert a szerszám a felszín szomszédos részeitől távolodik, e két rész között húzóhatás ébred, amelynek következtében a szerszámmal szomszédos felület behorpadni kénytelen. A behorpadás alapján (I. a



32. ábra.

Szívós-, képlékeny- és rideg-anyagok szúrásánál észlelhető jelenségek.

*) Rideg anyagok golyóval való nyomás esetén néha igen érdekes jelenségek észlelhetők. A száraz agyagpor préselése s a préselt tömegnek 1300° C-on történt kiégetése útján készült keramittéglákon például észleltük, hogy a golyó hatása alatt levő felületrész behorpad (tömörödik) ugyan, de a szomszédos részek sem nem duzzadnak, sem ki nem törnek. Tehermentesítés után azonban néhány perc multával, a belső erők rugalmas utóhatása következtében, nemcsak az összenyomott rész, de az ezt körülvevő anyagrész is duzzadni kezd s poralakra széthullva, széttöredezik.

32. III. ábrát) a szívós anyagok a képlékenyektől jól megkülönböztethetők.

Képlékeny anyag esetén a szerszámot körülvevő gyűrű a szerszám behatolása arányában szabadon duzzadhat, ennél fogva a golyó ágyazata fokozatosan megnagyobbodik. (L. a 32. IV. ábrát.) Ez az oka annak, hogy a ferrites vagy austenites páncéllemezbe lőtt golyó megfekvése oly rohamosan nő, hogy sebességét a lövedék csakhamar elveszti.

84. A golyóval való nyomást BRINELL az anyagok húzó szilárdságának meghatározására ajánlotta. Ő ugyanis azon a nézeten volt, hogy a szűrő keménység a szakító szilárdsággal lineáris viszonyban van. BRINELL szűrő keménységnek azt a hányadost nevezte, amelyet akkor kapunk, ha a külső erőt az érintkező gömbsüveg felületével elosztjuk.

Számos kutató kimutatta azonban, hogy BRINELL véleménye nem fedi a valóságot és hogy az általa megadott viszonyszám igen tág határok között ingadozik; ezek azt is kimutatták, hogy a BRINELL-féle keménységi szám fizikai szempontból is kifogásolható.

A feszültség ugyanis az a hányados, amelyet akkor nyerünk, ha a külső erőt az irányára merőleges sík felületével elosztjuk. Ép ezért a külső erőt nem a gömbsüveg felületével, hanem az erőre normálisan álló, tehát az érintkezési kör felületével kell osztanunk. Ma ezért, BRINELL javaslatától eltérően, a *szűrő feszültséget tekintjük* BRINELL-féle keménységnek s ezt *Br*-rel jelöljük. BRINELL, eljárásának megbízhatósága érdekében, a külső erő nagyságát is megszabta és azt kemény fémeknél 3000 kg-ra, lágy fémeknél 1500 kg-ra vette és kísérleteihez állandóan 10 mm. átmérőjű golyót használt.

Minthogy a szűrő feszültség a nyomó feszültséggel a 63. képlettel megadott viszonyban áll, ezért a BRINELL-keménység (*Br*) képlete:

$$Br = q(1 + tg^2 \beta) \quad (65.)$$

és mert a nyomófeszültség mindenkor az összetartozó húzófeszültséggel helyettesíthető,

$$q = p tg^2 \beta,$$

ezért:

$$Br = p(1 + tg^2 \beta) tg^2 \beta, \quad (65/a.)$$

ennél fogva a BRINELL-féle keménységi számnak a húzófeszültséghez való viszonya:

$$\eta = \frac{Br}{p} = tg^2 \beta (1 + tg^2 \beta). \quad (65/b.)$$

A p és β értéke azonban csak képlékeny anyagok esetén állandó, ezért az η tényező is csak ily anyagok esetén bírhat határozott értékkel. Szívós anyagoknál a p és a β a deformálás mértékével változik, oda kell tehát hatnunk, hogy a deformálás mértékét lehetőleg állandósítsuk.

Különböző nagyságú golyókkal végzett kísérleteimmel beigazoltam, hogy az arányos testek törvénye szúrásnál is érvényes, ennél fogva azonos deformálás akkor lép fel, ha a φ központi szög nagysága azonos.

Ámde a 64/a. képletsor szerint a golyóval való megnyomás akkor felel meg a rendes szúrásnak, ha $\varphi < \alpha$, ezért legcélszerűbb, ha φ -t 30° -ra vesszük. Ez esetben az érintkező kör átmérője félakkora, mint a golyó átmérője: $ab = d = 0,5 D_g$.

Szívós anyagoknál, amint már kimutattuk, a felszínnek a szerszámmal érintkező része behorpad s ezért a golyó megfekvésének körét pontosan meghatározni nem is lehet. E hibás mérés MARTENS szerint mellőzhető, ha a kör átmérőjének lemérése helyett a golyó bemélyedését: ec -t mérjük. Ezzel a φ szög megkívánt értéke is jobban biztosítható. A bemélyedés geometriai kifejezése (l. a 33. ábrát), ha a golyó nem alakulna:

$$s = ec = \frac{D_g}{2} (1 - \cos \varphi)$$

s ha $\varphi = 30^\circ$, akkor a golyó szükséges útja: $s = 0,067 D_g$; ámde a golyó rugalmasan alakul, ezért a lemért s_1 érték sem adja meg pontosan a φ^0 értéket.

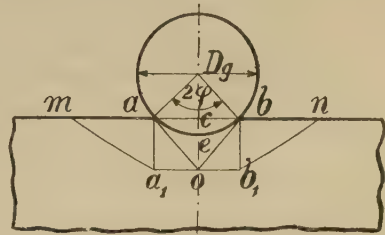
Csupán óvatosságból jegyezzük meg, hogy a BRINELL-féle keménységi kísérleteknél a szúrás képletének levezetésekor figyelembe vett határok szigorúan betartandók. Nem szabad tehát a tárgy széléhez közel fekvő helyen szúrni, mert ekkor nem a homloklap, hanem az oldallap duzzad és nem szabad vékony lemezeket sem brinellezni, mert ilyenkor a szerszám alatt kötöttségek keletkeznek, amelyeknél fogva az ellenállás q -ról q_{z1} -re nő.

E feltételek betartása esetén is a szívós anyagoknál q értéke pontról pontra változó, mert az alakváltozás a tengelyirányban a legnagyobb, a szélső pontokban pedig a legkisebb. Ha a szúrást addig fokozzuk, míg $\varphi = 30^\circ$ és ha az anyag egyenletes nyúlása nem túlságosan nagy, azaz ha $\lambda_e \leq 0,20$, a kísérletek szerint a tengelyirányban a feszültség q_e értékű, a szélén pedig q_f értékét alig lépi túl. Ilyenkor a képlet q értéke:

$$q = \frac{q_f + q_e}{2} = \frac{p_f + p_e}{2} t_g^2 \beta_e, \quad (66.)$$

ezt a 65-be helyettesítve:

$$Br = \left(\frac{p_f + p_e}{2} \right) t_g^2 \beta_e (1 + t_g^2 \beta_e) = \frac{q_f + q_e}{2} (1 + t_g^2 \beta_e). \quad (67.)$$



33. ábra.

Az elmozduló részek és a golyó geometriai összefüggése.

Ha az anyag szívóssága szakítással részben meg lett semmisítve, akkor kezdeti keménysége p_e , amely p_{max} -ig nőhet, miért is:

$$Br = \frac{p_e + p_{max}}{2} tg^2 \beta_e (1 + tg^2 \beta_e) = \frac{q_e + q_{max}}{2} (1 + tg^2 \beta_e) \quad (67/a.)$$

Képlékeny anyagok esetén azonban $q_1 = q_a = q_e$ lévén, a BRINELL-keménység képlete:

$$Br = q_e (1 + tg^2 \beta_e). \quad (67/b.)$$

Annak igazolására, hogy a *szűrőkeménység*, vagyis a BRINELL-féle *keménység* az anyagok jellemző tulajdonságaival a 65., 67. és 67/a. képletekkel megadott viszonyban áll, néhány anyag kísérleti értékeit a VII. táblázatba foglaltuk.

VII. táblázat.

Az anyag jellemzői:							BRINELL keménység: $Br =$		A kísérlethez használt		Jegyzet
Megnevezése	p_f	p_e	p_{max}	$tg^2 \beta$	$\frac{p_f + p_e}{2}$	$\frac{65/b \text{ képlet szerint}}{\eta = tg^2 \beta (1 + tg^2 \beta)}$	67. képlet szerint számítva	kísérleti adat	D_g mm	φ^0	
I. jelű kazánlemez	Szívós	18,63	36,0	50,0	1,51	27,32	3,76	104	99—104	10	30°
									96—104	6,33	30°
	Szívósságától megfosztott	—	36,0	50,0	1,51	36,00 43,00	3,76	134—152	147—151	10	30° 10'
									146—162	6,33	30° 5'
II. jelű kazánlemez	Szívós	26,0	39,7	54,0	1,376	32,85	3,26	107	101—111	10	33° 50'
									102—113	6,33	33° 50'
	Szívósságától megfosztott	26,0	39,7	54,0	1,376	39,7 46,8	3,26	128—155	144—150	10	27° 15'
									142—156	6,33	27°
Acél		74,0	96,0	—	1,48	85,0	3,64	310	241—326	10	20° 30'
									231—307	6,33	21°
Delta fém		23,6	60,2	—	1,376	41,9	3,27	133	132—137	10	32° 10'
									132—140	6,33	32°
Vörösréz $\delta = 12,3$		11,4	26,3	—	1,4	18,9	3,36	64	62—70	10	32° 20'
									64—67	6,33	32° 30'

Az anyag szűrőkeménységének meghatározására LUDWIK a $2\gamma = 90^\circ$ csúcsszöggel bíró kúpot alkalmazza. A keménység számértékéül ő is az erőnek az érintkező kúp felületével való hányadosát veszi. A kúp nagy metszőszöge folytán ($\gamma = 45^\circ$) az anyag elmozdulását nemcsak a vertikális, hanem a horizontális komponensek is végzik s ezért LUDWIK számértékei BRINELL értékeivel nem arányosak.

E táblázat kivonata a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye 1907. III—IV. f. -ben foglalt táblázatának. Az anyagok jellemzői pedig: »Az elméleti mechanikai technológia néhány alaptétele« című munkából vannak véve.

β) A harapás.

85. A harapás a szúrástól csak abban különbözik, hogy az egyik fősíkban a szerszám nagyobb a tárgy méreténél; ép ezért harapásnál a két fősíkot, nevezetesen az xy és az xz fősíkot kell figyelembe vennünk és ezek egymásra való hatását mérlegelnünk. Minthogy a hatások az akciós és a reakciós oldalon azonosak, az elmozdulás irányvonalainak tárgyalásakor csak az akciós oldalt vesszük tekintetbe.

Már a 77. pontban kifejtettek alapján tudjuk, hogy harapásnál az xy síkban a viszonyok teljesen olyanok, mint a szúrásnál, ennél fogva a 34. I. ábrán jelzett irányvonalak az a és a c szélső pontokban meredeken indulnak ki, de miközben a középtengely felé közelednek, fokozatosan csökken a meredekségük s a középtengelyben 2α szöget zárnak be. Ebben a síkban tehát az aoc rész a szerszám haladását követi.

Az xz síkban az érintkezés szélső pontjából kiinduló irányvonalak szintén görbék. Ebben a síkban az ao_3e -vel határolt anyagrészek tehát a szerszám haladását törekszenek követni. A szomszédos részek gátlása következtében azonban a szerszám útját csak az az anyagrész követheti, amely mindkét fősíkban kötve van. Hogy ezt a részt szemléltethetvé tegyük, az xz síkban meg kell jelölnünk az xy síkban kötött do réteg magasságát. Ez a vonal az ao_3e részt o_1 -ben és o_2 -ben metszi, ennél fogva mindkét síkban az ao_1o_2e rész van kötve, tehát csak ez követi a szerszám haladását.

Hogy a szerszám útját valóban csak ily teknőszerű rész követi-e, arról száraz szappannal végzett kísérlettel győződhetünk meg. A harapószerszámra azonban ilyenkor gyöngye kalapácsütést kell mérnünk, mert a szappan képlékenysége csekély s azért az ütés gyorsító hatása következtében az elmozdulások irányvonalai mentén elreped. Az említett teknőszerű rész tehát kitörik, de egyidejűleg elreped a tárgy még az o_2g és o_1f irányvonalak mentén is, mert e szabad oldalfelületek irányában az elmozdulások korlátozva nincsenek.

Minthogy a külsőerő nyomó-hatást fejt ki, ez okból harapásnál a tárgy méreteinek viszonya ép úgy befolyásolja az alakváltozást, mint nyomásnál.

Ha ugyanis az xz síkban a tárgy szélessége (b) csekély hányada a δ magasságnak, vagyis ha $\delta > 2,5 b \operatorname{tg} \beta$, akkor már a nyomásnál kifejtett okból a tárgy kihajlik. A kihajlás veszélyessége megszűnik, ha $\delta \equiv 2,5 b \operatorname{tg} \beta$. Az erőelosztás pedig mindaddig egyenletes marad, míg δ nagyobb a szerszám alatti kötött teknőszerű rész od magasságának kétszeresénél. Hogy az egyenletes erőelosztás e föltételét képletbe foglalhassuk, az od értéket a szerszám élvastagságával (E -vel) kell kifejeznünk. A 34. III. ábrából kitűnik, hogy az o pontban az érintő α szöget alkot, míg c -ben majdnem 90° -ot; ennél fogva parabolának tekinthetjük, amelynek az o pontból vont

érintője a homloklapot n -ban metszi. Ezért $cn \cong cd = \frac{E}{2}$, így $od = E \operatorname{tg} \beta$, ennél fogva az egyenletes erő-elosztás feltétele:

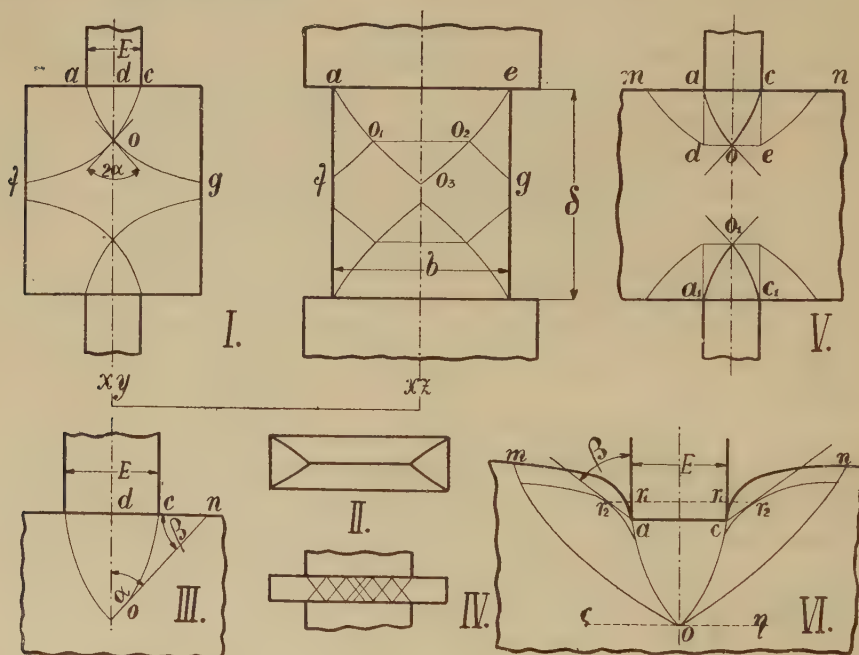
$$\delta \cong 2E \operatorname{tg} \beta. \quad (68/a.)$$

Mihelyt $\delta < od$, vagyis ha:

$$\delta < 2E \operatorname{tg} \beta, \quad (68/b.)$$

az ellenállás q -ról qz_1 -re nő.

Az alakváltozásokat befolyásolhatja továbbá a szerszámot körülvevő anyagmennyiség is, még pedig úgy, mint a szúrásnál. Ha a tárgy az



34. ábra.

A harapásnál érvényesülő irányvonalak.

xy síkban csekély szélességű, az elmozdulás a 34.I. ábra cf és ag irányvonalai mentén mehet végbe; ha azonban szélessége nagy, akkor a nyomott homloklap fog duzzadni.

86. Az előző pontban az elmozdulások irányvonalait határoztuk meg, a következőkben az elmozdulásokkal járó jelenségeket ismeretjük.

Képlékeny anyagok esetén, feltéve hogy a homloklap lényegesen nagyobb a szerszámnál, a duzzadás a homloklapon történik. Az elmozdulásban azonban, ha a tárgy vastagsága: $\delta > 2E \operatorname{tg} \beta$, csupán a szerszám alatti kötött résznek megfelelő $E \operatorname{tg} \beta$ vastagságú rétegek vesznek részt.

Ilyenkor, feltéve hogy $b < 2\delta \operatorname{ctg} \beta$, a szükséges erő ugyanakkora, mint a szúrásnál, miért is képlete:

$$Q = E b q (1 + \operatorname{tg}^2 \beta); \quad (68/c.)$$

de ha $b > 2\delta \operatorname{ctg} \beta$, akkor:

$$Q = E b q z_1 (1 + \operatorname{tg}^2 \beta). \quad (68/d.)$$

Ebben a képletben szereplő z_1 értéke a 39. képlet értelmében:

$$z_1 = \sqrt{z_b},$$

amelyben

$$z_b = \sqrt{\frac{(n_b + 1)(2n_b + 1)}{6n_b}}$$

és

$$n_b = \frac{b}{2\delta \operatorname{ctg} \beta}.$$

Ha a tárgy vastagsága $\delta < E \operatorname{tg} \beta$, akkor az erő képlete:

$$Q = E b q z_1 (1 + \operatorname{tg}^2 \beta).$$

Ebben

$$z_1 = \sqrt{z_\delta \cdot z_b}, \quad n_b = \frac{b}{2\delta \operatorname{ctg} \beta} \text{ és } n_\delta = \frac{E}{2\delta \operatorname{ctg} \beta};$$

továbbá:

$$\left. \begin{aligned} z_\delta &= \sqrt{\frac{(n_\delta + 1)(2n_\delta + 1)}{6n_\delta}} \\ z_b &= \sqrt{\frac{(n_b + 1)(2n_b + 1)}{6n_b}} \end{aligned} \right\} \quad (68/e.)$$

Rideg anyagok esetén, feltéve hogy a tárgy vastagsága (δ) sokszorososa az él vastagságának (E), az elmozdulás a homloklap irányában indul meg, miért is a tárgy a 34. V. ábra *mden* vonala mentén törik el, még pedig: $Q = E \cdot b \cdot q_t (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_t)$ erőnél; ha azonban $o o_1 \cdot b = (\delta - 2E \operatorname{tg} \beta_t) b$ keresztmetszetnek szemcseközötti kohéziója legyőzéséhez kisebb erő kellene, vagyis ha:

$$(\delta - 2E \operatorname{tg} \beta_t) b \pi_1 < E b q_t (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_t),$$

akkor a rideg anyagból készült tárgy először az $o o_1$ -ben, ezután az oa és az $o_1 a_1$ -ben, vagy oc és $o_1 c_1$ irányban törik.

Szívós anyagok esetén, amint már a szúrásnál is kifejtettük, a homloklap behorpadni kénytelen. E behorpadás következtében a nagyobb szívósságú anyagok igen figyelemre méltó jelenségeket mutatnak. Hogy e jelenségek fontosságát könnyebben felismerjük, előbb néhány kísérleti tényt említünk fel.

Régóta ismeretes, hogy az olyan késsel, melynek élére selyempapirost vagy vásznat borítunk, almát, szappant stb. vághatunk anélkül, hogy a pengét borító papiros vagy vászon megsérülne. Ez a kísérlet azonban csak akkor sikerül, ha a *borítóanyag jól símul a pengéhez*. Ugyancsak ismeretes az a tény is, hogy kemény, kevésbé szívós papirosba csomagolt vasszegek ezt átszúrják, míg a lágy és szívós papirosburkolatot nem. Mindkét jelenségből kitűnik, hogy az olyan anyag, amely a pengéhez teljesen hozzá símul, a penge kiegészítő részének tekinthető, amellyel a penge éle vagy a szeg csúcsa vastagszik s így tova-haladásához lényegesen nagyobb erő szükséges. Ennek fizikai oka a következő:

Mihelyt az E vastagságú szerszám a testbe hatol, az aoc rész a szomszédos anyagtól távolodik, miért is arra húzást fejt ki. Ámde az aoc darab a homloklappal párhuzamos síkokban a szomszédos anyagból csak akkora hosszúságú darabot húzhat, amekkora az e síkban kötött részek hosszúsága. Ennélfogva a kötött rész a felszínen levő anyagból a 34. III. ábra szerint jobbról $\frac{1}{2}E = cn$, balról is $\frac{1}{2}E = am$ hosszú darabot húzhat, míg a 34. VI. ábrán $\xi\eta$ síkban zérus hosszúságút. A húzott anyag tehát a co , ao és az mo , no vonalak közé van zárva. Ahhoz azonban, hogy a szerszám alatt levő kötött anyag a szomszédos anyagra valóban húzást fejthessen ki, még az is szükséges, hogy ez utóbbinak felszín-érintője a szerszám haladása irányával β szögnél nagyobb szöget zárjon be, mert a húzóerő csak az irányával β -nél nagyobb szög alatt fekvő anyagot képes elmozdítani.

Ebből azonban az következik, hogy nagy mértékben megnyúló anyagok esetén a szerszám melletti részek annyira símulhatnak a szerszámhoz, hogy az érintkező felszínnek érintője a szerszám haladása irányával már β -nál kisebb szöget alkot, miért is a szerszám éle ezzel vastagszik, amint ezt a 34. VI. ábrán feltűntettük. Ilyenkor meg kell keresnünk a felszín parabolikusan görbülő részének azt a pontját, amelynek érintője ép a β szöget alkotja, ezt a pontot ez ábrán r_1 -gyel jelöltük. Minthogy az r_1r_2 vastagságú anyagréteg a szerszámhoz símul, a szerszám E éle ezzel megvastagszik, ez tehát $E + 2r_1r_2$ méretűnek tekinthető. Az előbbieket szerint azonban a szerszám vastagságával nő a kötött rész, tehát a húzott rész hossza is, ennélfogva a megnyúlásban nagyobb hosszúság vesz részt s így újabb anyagmennyiség illeszkedhetik a szerszámhoz.

Ha tehát az anyag szívóssága igen nagyfokú, a szerszám most jelzett vastagodása folytán az erőszükséglet rohamosan nő; de ha a rendelkezésünkre álló erő korlátolt, a szerszám megakad s ekkor azt mondjuk, hogy a szerszám befalazódott; végül, ha a szerszám csak korlátolt erőt képes közvetíteni, eltörik.

Feltéve, hogy elegendő külső erővel rendelkezünk és a szerszám elég erős ahhoz, hogy a folytonos élvastagodásból eredő erőtöbbletet

átadja, a harapó szerszámok nyomólapjai végre oly közel jutnak egymáshoz, hogy a 34. IV. sz. ábrában jelzett jelenség következik be, vagyis ekkor vékony testek nyomásával van dolgunk, amelyek középső részében a kohézió legyőződik, a tárgy tehát, bármily szívós is anyaga, harapással elrepszthető.

87. A harapáshoz eddig a 90° metszőszögű szerszámot használtuk. Lehet azonban itt is, mint a szúrásnál, hegyes vagy változó metszőszögű szerszámot használni.

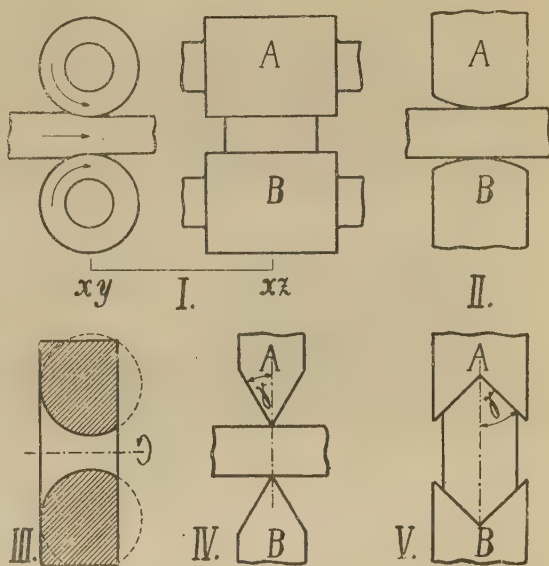
Ha a szerszám az xy síkban kör alakú (l. a 35. I./ xy , I./ xz ábrát), vagy ha a testtel érintkező része körszelvény (l. a 35. II. ábrát), az xz síkban pedig négyszög, ekkor a szerszám *henger* vagy *hengerszelvény* alakot nyer.

A hengeres szelvényalakú szerszámmal kifejtett lassú nyomóhatást *sajtolásnak*, az ütőhatást pedig *kovácsolásnak* mondjuk. A hengeres szerszámmal kifejtett műveletet, ha a munka folytonossága kedvéért a hengernek forgó mozgást is adunk, *hengerelésnek* mondjuk.

Lehet azonban a szerszámot olyképp is módosítani, hogy az xy síkban megtartjuk a körszelvényt és ezt alkotósíkként a tárgy középvonalán áthaladó tengely körül forgatjuk (l. a 35. III. ábrát). Ilyképp zárt *üregre* teszünk szert, amelyen keresztül a tárgy átnyomható vagy áthúzható, s ekkor a műveletet *üregen való áthúzásnak* nevezzük.

Lehet továbbá a harapó szerszámokat az xy síkban állandó hegyes metszőszöggel is ellátni (l. a 35. IV. ábrát). Ha $\gamma < \alpha$ -nál, a szerszám az anyag elterelésére és darabolásra alkalmas, ha pedig ékszerű kivágással bír (l. a 35. V. ábrát) és γ szög α és β között mozog, az anyag e kivágásba tereltetik, minek következtében a szerszám alakjához símul, tehát az ilyen szerszám alakos tárgyak sajtolására alkalmas.

Az e pontban ismertetett módosulatokkal azonban csak az alkalmazott részben foglalkozunk.



35. ábra.

A harapás változata, ha a metszőszög kisebb 90° .

γ) A nyírás és a lyukasztás.

88. Nyírásnál az erőhatások mérlegelése céljából a felszíni rajzok helyett az élenkebben szemügyre vehető méretváltozásokat vesszük tekintetbe.

A nyírott testen ugyanis, amint ez a 36. ábrából is kitűnik, helyenként a test szélessége méretcsökkenést, helyenként pedig méretnövelést mutat; de vannak a testnek olyan részei is, melyekben nagymértékű elmozdulások mennek ugyan végbe, de ennek ellenére a test szélessége változatlan marad.

A szélesség növekedése a szerszám támadó lapjával érintkező része-



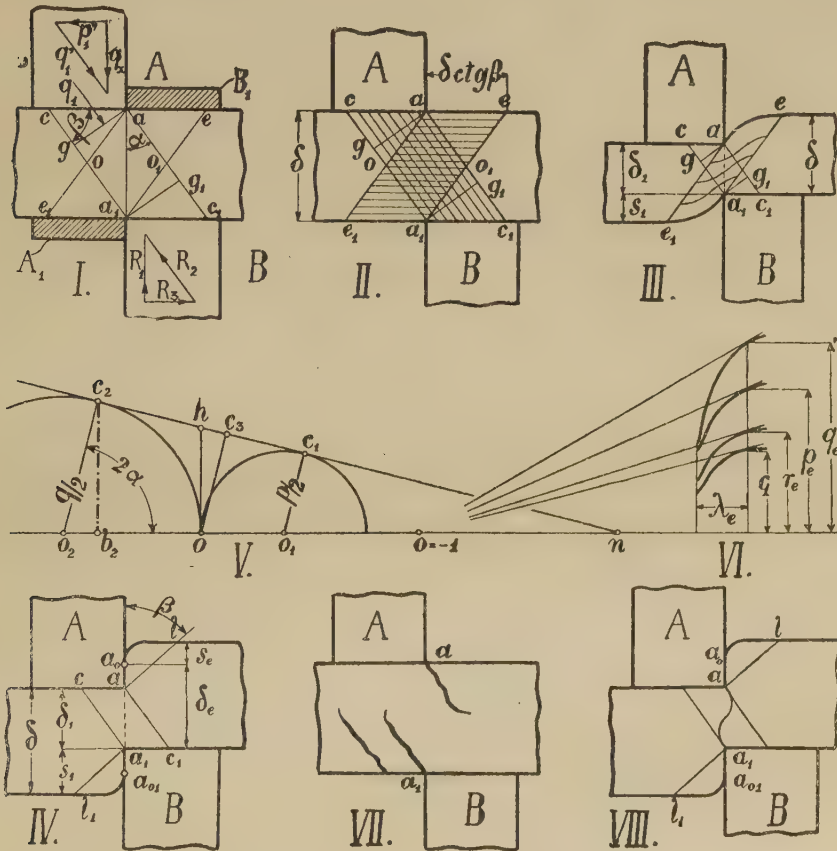
36. ábra.
Nyírott ólom-hasáb.

ken észlelhető, jeleül annak, hogy aszerszámraható erő nyomóhatást fejt ki. A szélesség csökkenése ellenben a nyírószerszám alatt, a szabad felszín mentén megyen végbe. E jelenség kétségtelen bizonyítéka annak, hogy e testrészt húzva lett, még pedig azért, mert — amint azt a szúrásnál és harapásnál kimutattuk — a szerszám alatti részek a

szomszédos felszínrészekről eltávolodnak. A szélesség változatlan marad a nyírósík mentén levő anyagrészben, amiből következik, hogy ez a rész a nyomó- és húzóerők együttes hatása alatt állott.

Az ábra szerint a nagyméretű elmozdulás iránya a nyomott felszínre normális, amiből következik, hogy ezt oly erő okozza, mely a csúszás irányához α szöggel hajlik. Minthogy pedig a szerszámra gyakorolt R_1 nyomóerő is normális a felszínre, kétségtelen, hogy e nagyméretű elmozdulást nem a teljes külső erő, hanem ennek csak egyik komponense végzi. A külső erő tehát két komponensre, R_2 - és R_3 -ra bontható (l. a 37. 1. ábrát), amelyek egyike a húzóhatást fejt ki, másika pedig az elcsúsztatást. Mentől nagyobb az anyag gátlása, annál nagyobb a húzókomponens, miért is az elmozdulás irányvonala is annál meredekebb.

Nyírásnál, amint már előzőleg a 77. pontban kifejtettük, az akció és a reakció eredői nem esnek egy egyenesbe, ennél fogva ezek forgató erőpárt alkotnak, amely a tárgyat a szerszám élei körül elforgatja. Ez elforgatás következtében a nyírás síkja folyton változtatja irányát. Ha tehát a nyírás síkjának irányát állandósítani akarjuk, a forgatást meg kell akadályoznunk azzal, hogy a 37. l. ábra szerint az A szerszám alatti részt



37. ábra.

Nyírásnál érvényesülő elmozdulások, berepedések és feszültségek.

az A_1 lemezzel, a B szerszám alatti részt pedig a B_1 lemezzel az azonos jelzésű szerszámhoz kötjük.

89. Minthogy abban az esetben, ha a nyírószerszám metszőszöge 90° -ú és ha a tárgy elforgatását megakadályozzuk, a nyírósík irányát a szerszám élvonalait összekötő sík határozza meg (l. a 37. l. ábrán az aa_1 irányt) s mert a külső erőnek R_2 komponense ezzel az aa_1 -gyel jelölt elmozdulás irányával a jellemző α szöget alkotja, az R_2 irányát megkapjuk, ha az a és az a_1 -ben az aa_1 -hez α szög alatt hajló ac_1 és a_1c vonalakat

meghúzzuk. Az A szerszámmra ható R_2 komponens kezdeti támadó pontja az a pont, az ezáltal ébresztett reakció szélső támadó pontja tehát csak az a -val szemben álló c_1 pontban lehet; a reakciós szerszámon a nyomó komponensének kezdeti támadópontja pedig a_1 , ennél fogva az akciós szerszámon a szélső pont c ; ebből következik, hogy nyomóhatás alatt csak az $a c_1 a_1 c$ által határolt anyag áll. Hogy az e darab alakításához szükséges nyomóerőt meghatározhassuk, az erre normális nyomófelületet kell ismerünk. Az ábra szerint tehát a nyomófelület az ag .

Szélességét az aga_1g_1 nyomott darab, amint már jeleztük, nem változtatja meg, mert erre húzóerők is hatnak. Hogy a húzóerők hatását is meghatározzuk, rajzoljuk föl az a és az a_1 pontokból a teljes külső erő elmozdulási irányvonalait. Ez irányvonalak egyik rendszere összeesik az ac_1 és a_1c_1 vonalakkal s így pótlólag csak az ae_1 és az a_1e vonalak húzandók meg. Az utóbbiak által határolt részek mérete nő, ezek tehát húzás alatt állottak. De ha az ac_1a_1c -re nyomó, az aea_1e_1 -re pedig húzó erők hatnak, akkor az ao_1a_1o darab mindkét hatás alatt áll, holott az aoc és $a_1o_1c_1$ részek csak nyomás, ellenben az ao_1e és az a_1oe_1 részek csak húzás alatt, miért is azok szélességük irányában duzzadnak, ezek pedig a szélesség és a vastagság irányában összehúzódnak.

A húzó- és a nyomóhatások elosztásának könnyebb szemléltetése céljából a 37. II. ábrában a húzott részeket vízszintesen, a nyomottakat pedig a nyomó komponens irányával megegyező vonalkázással jelöltük.

A nyíróerők tehát a szerszámnak csupán $ac = a_1c_1 = \delta \operatorname{ctg} \beta$ szélességű sávján fejtik ki hatásukat, ha a tárgynak a szerszámok közötti vastagságát δ -val jelöljük.

Ebből azonban következik, hogy nyíráshoz legalább $\delta \operatorname{ctg} \beta$ vastagságú szerszámokat kell használnunk; ha ezek vékonyabbak, mindaddig bevágódnak — akár a harapószerszámok, — míg az élek közötti távolság, vagyis a megváltozott lemezvastagság, a δ_1 , szorozva a $\operatorname{ctg} \beta_1$ értékével, a penge vastagságának értékét el nem éri; de mihelyt $\delta_1 \operatorname{ctg} \beta_1 = E$, nyírás megy végbe.

A vastagabb penge használata semmiféle káros hatással nem jár, mert a $\delta \operatorname{ctg} \beta$ értékét túlhaladó vastagság hatástalan. A húzott s nyomott részek ismerete alapján a nyíróerő kiszámításához már hozzáfoghatnánk, mégis indokoltnak véljük, hogy előbb még az alakváltozásoknak az anyagok fajaitól függő módosulásait ismerjessük.

90. Szívós anyagok esetén az alakváltozások a 37. III. ábrán jelzett módon mennek végbe.

A szerszámok egymáshoz való közeledése folytán csökken a nyomott rész keresztmetszete, mert az $ac = \delta_1 \operatorname{ctg} \beta_1$ kisebbedésével csökken az ag mérete s ezzel egyidejűleg a szerszám melletti húzott rész ae keresztmetszete is. Ennek dacára a test nem reped be, hanem annak a szerszám nyomósíkja fölé elhelyezkedő része húzott testek módjára

megnyúlik (l. a 37. III. ábrát). Berepedés szívós anyagnál csak akkor áll be, ha a külső rétegnek ae darabja annyira megnyúlt, hogy szívósságát elvesztette. Minthogy szívós anyagoknál a szerszám előhaladásával a nyomott és húzott rész keresztmetszete csökken, a külső erő számértékét úgy kapjuk, hogy a megváltozott keresztmetszetet szorozzuk a feszültséggel.

Képlékeny anyagok esetén, mert a feszültség az alakváltozás folyamata alatt nő, a húzott rész nem is nyúlik meg úgy, mint a szívós anyagoknál láttuk, hanem, mire a feszültség a $q_e = q_a$ értéket elérte, az elmozdulás az aa_1 sík mentén megindul s ennek következtében a szerszám melletti rész a szerszám nyomó-síkja fölé emelkedik, amint az a 37. IV. ábrán látható.

Az anyagnak ez új elrendezése következtében a nyomott és húzott darab keresztmetszete ép úgy csökken, mint a szívós anyagé; ha tehát a külső erő számértékét most is csak a megváltozott keresztmetszetnek a feszültséggel való szorzata adná meg, a nyíróerőnek — mert a feszültség folyton állandó — csökkennie kellene. A kísérletek tanúsága szerint azonban a külső erő jó sokáig *állandó*, amiből következik, hogy a szerszám nyomósíkja fölé helyezkedő $s_1 = \delta - \delta_1$ vastagságú réteg is befolyásolja a külső erőt. És mert a nyíróerő állandó, továbbá az is következik, hogy a nyomósík fölött levő gátló anyagnak ellenállása teljesen akkora, mint a $\delta_x = s_1$ vastagságú tárgy nyíró-ellenállása.

91. A nyíróerőt szívós anyagok esetén az alakításhoz szükséges feszültségből határozhatjuk meg. Levezetéseinkben a szerszámok kezdeti távolságát δ_0 -val, a megváltozottal δ_1 -gyel fogjuk jelölni.

Minthogy a 37. I. ábra szerint a nyomókomponens az aa_1 síkban viszi véghez az elmozdulást, s mert ez akadálytalanul mehet végbe, ennél fogva a fajlagos erő nem lehet nagyobb a rendes nyomófeszültségnél, a q_1 -nél, feltéve ugyanis, hogy a másik fősíkban a méretek viszonya $\frac{b}{2ag_1 \operatorname{ctg} \beta_1} < 1$, vagyis hogy ott a z_1 érték nem érvényesül. De ha a méretek viszonya $\frac{b}{2ag_1 \operatorname{ctg} \beta_1} > 1$, azaz ha $n = \frac{b \operatorname{tg} \beta_1}{2\delta_1 \sin \beta_1} > 1$ -nél, akkor az xz síkban már a z_1 érvényesül s ekkor a 39. képlet szerint a fajlagos erő $q_1 \sqrt{z_1}$ lesz.

A külső erő nyomókomponense azonban nem az $(ag \times b)$, hanem az $(ac \times b)$ felületre hat. Az erre ható fajlagos erőt, a q_1' -et, a következő egyenletből határozzuk meg:

$$q_1 ag = q_1' ac,$$

$$\text{ebből:} \quad q_1' = q_1 \frac{ag}{ac} = q_1 \sin \beta_1. \quad (69.)$$

Az erőpoligonból pedig következik, hogy: $q_x = q_1' \sin \beta_1$ és ha e képletbe q_1' értékét a 69. egyenletből vesszük, akkor:

$$q_x = q_1 \sin^2 \beta_1. \quad (69/a.)$$

A fajlagos erőt ismerve, a külső erő teljes nagyságát úgy kapjuk meg, ha ezt a q_x értéket a reá merőleges irányú ($a \times b$) felülettel szorozzuk. Tehát:

$$R_1 = a \cdot c \cdot b \cdot q_x = b \cdot \delta_1 \operatorname{ctg} \beta_1 q_1 \sin^2 \beta_1 = \dot{b} \delta_1 \frac{q_1}{2} \sin 2 \alpha_1. \quad (70.)$$

E képlet levezetésekor feltételeztük, hogy a külső erő egyenletesen eloszlott; ezt pedig azért tehetjük fel, mert az a pontban ható akcióval szemben c_1 -ben azonos nagyságú reakciónak s viszont az a_1 -ben ható reakcióval szemben a c -ben azonos nagyságú akciónak, tehát a -tól c -ig egyenlő nagyságú fajlagos erőnek kell hatnia.

Az irodalomban a *fajlagos nyíróerő* elnevezést is használják, még pedig arra a hányadosra, amelyet akkor nyerünk, ha a nyíróerőt elosztjuk a nyírósík nagyságával. Eszerint tehát a fajlagos nyíróerő (r_1):

$$r_1 = \frac{R_1}{\delta_1 b} = q_1 \operatorname{ctg} \beta_1 \sin^2 \beta_1 = \frac{q_1}{2} \sin 2 \alpha_1; \quad (71.)$$

ha ebbe a képletbe a $q_1 = p_1 \operatorname{tg}^2 \beta_1$ értéket helyettesítjük, akkor:

$$r_1 = p_1 \operatorname{tg} \beta_1 \sin^2 \beta_1^* = \frac{p_1}{2} \sin 2 \alpha_1 \operatorname{tg}^2 \beta_1; \quad (71/a.)$$

vagy:
$$r_1 = \sin^2 \beta_1 \sqrt{q_1 p_1^{**}} = \frac{1}{2} \sqrt{q_1 p_1} \cdot \sin 2 \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1. \quad (71/b.)$$

A 71., 71/a. és 71/b. képlettel kifejezett értékeket a 70. képletbe helyettesítve, a nyíróerőre a következő képleteket kapjuk:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \delta_1 b r_1 = \delta_1 b \sin^2 \beta_1 q_1 \operatorname{ctg} \beta_1 = \delta_1 b \frac{q_1}{2} \sin 2 \alpha_1 \\ R_1 &= \delta_1 b \sin^2 \beta_1 p_1 \operatorname{tg} \beta_1 = \delta_1 b \frac{p_1}{2} \sin 2 \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta_1 \\ R_1 &= \delta_1 b \sin^2 \beta_1 \sqrt{q_1 p_1} = \delta_1 b \frac{1}{2} \sqrt{q_1 p_1} \cdot \sin 2 \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1 \end{aligned} \right\} \quad (70/a.)$$

*) A 71/a. képletet így is írhatjuk: $r_1 = p_1 \sin \beta_1 (\sin \beta_1 \operatorname{tg} \beta_1)$ s mert a zárójelben foglalt mennyiségek értéke $\beta_1 = 50^\circ \sim 51^\circ$ esetén 0,88, azért ha közelítő értékkel megelégszünk, használhatjuk az $r_1 = p_1 \sin \beta_1 0,88$ képletet, amely eddigi közleményeinkben szerepel. Közelítő értékek számításakor azonban $\sin 2 \alpha_1 (=) 1$ -nek vehető s ekkor:

$$r_1 = \frac{q_1}{2}.$$

**) A 71/b. képlet a MOHR-féle képlethez hasonlóbbá válik, ha a következő alakban írjuk:

$$r_1 = \left[\sin 2 \alpha_1 \frac{1}{2} \sqrt{q_1 p_1} \right] \operatorname{tg} \beta_1 = [\sin 2 \alpha_1 G] \operatorname{tg} \beta_1 \quad (71/c.)$$

MOHR szerint a fajlagos nyíróerő a zárójelbe foglalt mennyiséggel, vagyis a 37 V. ábrának oh vonalával megérzékített értékkel egyenlő. Tapasztalataink szerint azonban ez a számérték lényegesen kisebb a kísérleti értéknél.

Mint hogy a 71. képlet így is írható: $r_1 = q_1 \cos \beta_1 \cdot \sin \beta_1 = \frac{q_1}{2} \sin 2 \alpha_1$, ennél fogva ezt a MOHR-féle ábrázolás segítségével a $\frac{q_1}{2}$ sugarú kör c_2 pontjának abszcisszájával, $c_2 b_2$ -vel, megérzékíthetjük.

Hogy e képletsorral a nyíróerő változását meghatározhassuk, a feszültségnek a δ_1 -gyel való összefüggését kell ismernünk. A rendes nyomásnál az átmérő százalékos méretnövelése a magasság változásával a következő viszonyban áll: $\frac{\delta_0}{\delta_1} = (1 + \lambda_1)^2$, feltéve ugyanis, hogy a méretnövelés a keresztmetszet mindkét irányában megy végbe. Ámde a nyírásnál a nyomott test szélessége változatlan, ennél fogva a méretcsökkenés és a méretnövelés közötti viszonyoknak lineárisnak kell lennie, vagyis:

$$\frac{\delta_0}{\delta_1} = 1 + \lambda_1. \quad (72.)$$

Ebből:

$$\delta_1 = \frac{\delta_0}{1 + \lambda_1}.$$

Ha ezt az értéket a 70/a. képletsorozatba tesszük, akkor:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \delta_0 b \frac{r_1}{1 + \lambda_1}; & R_1 &= \delta_0 b \frac{q_1}{1 + \lambda_1} \operatorname{ctg} \beta_1 \sin^2 \beta_1; \\ R_1 &= \delta_0 b \frac{p_1}{1 + \lambda_1} \operatorname{tg} \beta_1 \sin^2 \beta_1; & R_1 &= \delta_0 b \frac{\sqrt{q_1 p_1}}{1 + \lambda_1} \sin^2 \beta_1. \end{aligned} \right\} \quad (70/b.)$$

E képletsorozatból hitűnik, hogy a nyíróerő csak addig nőhet, míg $\frac{p_1}{1 + \lambda_1} = \operatorname{tg} \omega$ értéke nő, így tehát maximumát $\frac{p_e}{1 + \lambda_e}$ értéknél éri el ép úgy, mint a húzóerő; ez okból a *nyíróerő ábrájának is vízszintes érintője van*, amelynek első érintő-pontjában az ordináta a $\frac{p_e}{1 + \lambda_e}$ -nek függvénye.

A 71. és 71/a. képletsorozatból pedig következik, hogy a fajlagos nyíróerőnek (r_1) változása ugyanazt a törvényt követi, mint a húzó- és nyomófeszültség, ennél fogva a -1 -ből húzott vonal az r görbét a λ_e abszcisszával bíró pontban ép úgy érinti, mint a p és a q görbét. (L. a 37. VI. ábrát.) A 79/b. képletsorozatból továbbá az is következik, hogy a nyíró erő max. értékét a p_e vagy a q_e s λ_e értéknél éri el. Képlete:

$$R_{\max} = R_e = \delta_0 b \frac{q_e}{1 + \lambda_e} \operatorname{ctg} \beta_e \sin^2 \beta_e = \frac{\delta_0 b}{1 + \lambda_e} \frac{q_e}{2} \sin 2 \alpha_e. \quad (73.)$$

Ha pedig az xz fősíkban kötöttség is érvényesül, a képlet alakja ez lesz:

$$R_{\max} = R_e = \delta_0 b \frac{q_e}{1 + \lambda_e} \sqrt{z_1} \operatorname{ctg} \beta_e \sin^2 \beta_e.$$

Minthogy a 19/b. képlet szerint $\frac{p_e}{1 + \lambda_e} = \sigma$, ezért a 73. képlet így is írható:

$$R_{\max} = R_e = \delta_0 b \sigma \frac{\operatorname{tg}^2 \beta_e}{2} \sin 2 \alpha_e = \delta_0 b \sigma \operatorname{tg} \beta_e \sin^2 \beta_e.$$

92. Az előző pontban jelzett törvényszerűség azonban csak teljesen izotropszerű anyagoknál észlelhető. Nem izotropszerű anyagoknál a feszültségi görbe alakja minden irányban más és más. Ennélfogva előfordulhat az az eset, hogy a nyírásnál érvényesülő húzóhatás irányában az egyenletes megnyúlás nagyobb, azaz rugalmassági határa kisebb, mint a nyomóhatás irányában; de ép úgy lehetséges az is, hogy a húzóhatás irányában az egyenletes megnyúlás kisebb.

Ez okból a nem izotropszerű anyagok kísérleti R_{max} értéke eltér a 73. képlettel számított értéktől.

Hengerelt vasötvözeteknél a kísérleti érték rendszerint nagyobb a számítotttnál, még pedig átlag $tg \beta_e$ -szerese, holott *rézötvözeteknél*, mert ezek viselkedése az I. kötet 214. pontjában kifejtettek szerint eltér a vasfajokétól, a kísérleti nyíróerő rendszerint kisebb s átlag $ctg \beta_e$ -szerese a számítotttnak.

Nem izotropszerű vasanyagoknál tehát az alkalmazandó képlet:

$$R_e = R_{max} = \delta_0 b \frac{1}{1 + \lambda_e} \cdot \frac{q_e}{2} \cdot \sin 2\alpha_e \cdot tg \beta_e \quad (73/a.)$$

és rézötvözeteknél:

$$R_{max} = \delta_0 b \frac{1}{1 + \lambda_e} \cdot \frac{q_e}{2} \cdot \sin 2\alpha_e \cdot ctg \beta_e. \quad (73/b.)$$

Arányos próbatestek esetén, mert ekkor a $\sqrt{z_1}$ értéke is minden próbatestnél ugyanaz, az erők viszonya ez lesz:

$$\frac{R'_{max}}{R''_{max}} = \frac{\delta' b'}{\delta'' b''}. \quad (74.)$$

A 73., 73/a. és 73/b. képlet használhatóságának igazolására a VIII. táblázatot közöljük.

93. Rideg anyagok igénybevételekor nem a százalékos megnyúlás, hanem a *törés képezi a határérték jellegét* (l. a 37. VII. ábrát), ezért a q_t és a $p_t = \pi_1$, vagyis a szemcse közötti kohézió, valamint a $\frac{q_t}{p_t} = tg^2 \beta_t$ veendő figyelembe, lesz tehát:

$$R_{max} = \delta_0 b \sqrt{q_t p_t} \sin^2 \beta_t = \delta_0 b \frac{q_t}{2} \cdot \sin 2\alpha_t. \quad (75.)$$

E képlet használhatóságának igazolására a VIII. táblázatba a rideg anyagra vonatkozó kísérleti adatokat is felvettük. E helyt megjegyezzük, hogy GRECO kísérletei szerint *cement* próbatestek nyírófeszültsége közel fele a nyomófeszültségnek, tehát ezekre is érvényes a 75. képlet.

VIII. táblázat.

Az anyag száma és megnevezése	Az anyag sajátságai					A nyírás kísérleti adatai és értékei					Számított értékek	
	q_e kg/mm ²	p_e kg/mm ²	λ_e o/o	k	$tg^2 \beta_e$	b_0 mm.	δ_0 mm.	δ_e mm.	δ_b mm.	R_m kg.	R_m kg.	k
Szívós anyagok, melyeknél a nyíróerő nagyságát a 73. képlet adja:												
137. Vasanyag ---	59,5	41,0	20,0	0,49~0,85	1,45	20,0	14,9	12,5	11,8	7300	7360	0,73
Kazánlemez I. ---	54,5	36,0	17,0	—	1,51	48,7	12,1	—	—	13300	13700	—
« II. ---	54,5	39,7	17,5	—	1,38	48,2	12,1	—	—	13700	13600	—
Sárgaréz ---	64,5	58,0	23,0	—	1,11	36,4	10,0	—	—	9700	9600	—
Ón ---	4,5	2,5	17,0	—	1,80	36,2	12,0	—	—	860	840	—
Ólom ---	3,4	2,1	27,0	—	1,60	36,2	12,2	—	—	600	590	—
Szívós anyagok, melyeknél a nyíróerő nagyságát a 73/a. képlet adja:												
257. Vörösréz ---	30,9	28,0	28,1	0,34~0,79	1,11	12,4	9,8	7,3	6,7	1590	1550	0,90
258. Ágyúfém ---	55,0	45,0	38,5	0,82~1,22	1,22	12,3	9,9	7,5	6,8	2410	2660	0,95
266. Foszförbronz ---	35,1	34,3	12,6	1,20~1,57	1,03	12,9	10,1	9,0	7,0	2450	2060	1,60
273. Mangánbronz ..	45,5	42,5	24,0	0,78~1,35	1,10	12,9	9,7	8,1	5,9	2700	2410	1,83
274. Nikkel ---	66,8	55,1	22,0	0,78~1,10	1,20	12,8	9,5	7,6	6,7	3880	3650	1,10
487. ---	52,0	42,0	23,0	0,70~1,71	1,24	10,0	15,0	11,9	10,8	3960	3540	0,96
186. ---	55,0	41,0	25,0	1,25~1,36	1,34	19,8	14,2	11,3	9,6	7000	7150	1,25
265. ---	57,0	45,0	21,0	0,95~1,26	1,26	14,0	10,3	8,3	7,3	3900	3810	1,11
264. ---	63,0	51,0	19,5	0,75~1,04	1,23	14,0	10,5	8,9	8,2	4360	4340	0,88
187. ---	68,0	53,0	21,0	0,66~0,71	1,28	17,8	13,9	11,4	10,8	7800	7850	0,70
475. ---	68,0	55,0	16,0	0,59~1,18	1,23	10,7	14,0	11,9	11,4	4680	4850	0,63
136. ---	68,8	51,5	19,0	0,62~0,84	1,33	19,9	14,8	12,6	11,8	9300	9800	0,78
494. ---	73,0	58,5	17,5	0,57~0,98	1,25	9,9	20,0	17,4	16,9	7050	6860	0,52
583. ---	81,0	66,2	15,0	0,91~1,10	1,23	9,8	19,9	17,1	16,4	7650	7620	0,62
483. ---	87,5	75,6	13,0	0,56~0,82	1,17	10,0	15,0	13,2	12,7	7350	6280	0,60
496. ---	100,5	82,5	13,0	0,33~0,66	1,22	10,0	20,0	17,8	17,4	10900	9860	0,46
Szívós anyagok, melyeknél a nyíróerő nagyságát a 73/b. képlet adja:												
255. Acélbronz ---	71,0	56,0	28,2	0,32~0,65	1,27	12,4	10,0	8,5	8,3	2940	3040	0,47
261. « ---	62,7	50,0	36,0	0,67~0,85	1,25	12,9	9,9	7,9	7,5	2560	2630	0,70
259. Sárgaréz ---	53,0	47,5	33,0	0,60~0,80	1,11	6,6	5,1	4,0	3,6	590	630	1,00
262. « ---	75,4	61,9	29,5	0,43~0,74	1,22	13,1	10,0	8,8	8,5	3420	3470	0,57
260. Alpakka ---	68,0	57,0	32,8	0,46~1,14	1,19	6,1	5,0	3,9	2,5	590	710	2,25
254. Cink ---	19,8	13,4	9,0	0,98~2,10	1,44	12,3	8,7	7,5	6,1	880	810	1,45
Rideg anyagok, melyeknél a nyíróerő nagyságát a 75. képlet adja:												
558. Szürke vas ---	53,0	15,0	—	—	3,50	16,1	32,0	31,8	31,8	10700	11300	—
Szürke vas *) ---	32,0	24,0	—	—	1,32	95,0	15,2	—	—	21900	22600	—

*) A közölt értékek REJTŐ: »Az elméleti mech. technológia néhány alaptétele« című munkából vannak átvéve.

94. Az előbbi pontban kifejtettek szerint a nyíróerő csak addig nőhet, amíg a húzott részben a fajlagos megnyúlás a λ_e értékét elérte. Ezt a maximális értékét a nyíróerő a képlékeny anyagok esetén a 90. pontban kifejtettek szerint még akkor is megtartja, ha a feszültség változatlan és a szerszámok közötti réteg vastagsága csökken. E jelenségből következik, hogy képlékeny anyagok nyírásakor a szerszámok élvonalai fölé torlódó anyag növeli az erőszükségletet, vagyis, hogy ez gátlást okoz. E gátlás dacára azonban, a nagy képlékenységi fokkal bíró anyagok nyíróerő ábrája mégsem követi mindvégig a vízszintes érintőt, hanem amint a tárgynak a szerszámok közötti vastagsága (δ_1) az eredetinek felére csökkent, tehát ha $\delta_1 = \frac{\delta_0}{2} = s_1$ lett, az erő a δ_1 csökkenése arányában

szintén fogy. Ez a jelenség pedig arra enged következtetni, hogy a külső erő az élek fölé torlódó anyagra csak az élek között levő anyag útján képes hatni, de mert ez utóbbi saját méreténél vastagabb réteget nem mozdíthat el, azért hatásának határa: $\delta_1 = s_1$. E két rétegnek egymásra gyakorolt hatása, minthogy azok egymástól távolodnak, csak *húzó hatás* lehet. Ezt a hatást a szerszámközötti réteg az aa_1c rész (lásd a 37. IV. ábrát) útján fejt ki. Az érvényesülő húzóerő iránya tehát a külső erő irányával megegyezik, miért is az elmozdulások irányvonalai az aa_1 iránnyal a β -et alkotják. Hogy az elmozdulásokat szemléltethetővé tegyük, ez irányvonalakat a 37. VIII. ábrában meghúztuk. Ekkor kitűnt, hogy a húzóerő hatása az al irányvonal és a szerszám mellső lapjai között levő anyagra közvetlenül nem terjed ki, de mert az al irányvonalban levő anyag az él felé közeledik, az magával viszi az aa_0l által határolt anyagot is; ámde ez utóbbi nem haladhat, mert a szerszám mellső lapja útját állja, ezért ez a szerszámhoz szorúl s azzal surlódik. E surlódás az a és a_1 élben akkora feszültséget okozhat, hogy a tárgy bereped.

Ámde a berepedés, amint a 33. pontban kifejtettük, a szemcseközötti kohézióknak csak többirányú erőkkel való legyőzésekor állhat be, amiből következik, hogy nyírásnál az a és a_1 élekre szintén többirányú erők hatnak; ezek pedig a következők: az egyik az, amely úgy támad, hogy az a_0l gátolja az al irányban fekvő csoportok elmozdulását, a másik az, amely azáltal ébred, hogy a nyírott tárgy szélességét (b) nem változtathatja meg és végre a harmadik az ac_1a_1c rész húzása folytán keletkezik. Ha e háromirányú feszültség az a és a_1 -ben akkora ritkítást idéz elő, hogy a (π_1) szemcseközötti kohézió ezt már ellensúlyozni nem képes, a tárgy a -ban és a_1 -ben elreped. A repedés az ac_1 és a_1c irányvonalak mentén indul meg, de amint a szerszám tovább *halad*, az irányvonalak az élek közeledése folytán egymáshoz közelednek, a berepedés irányai tehát szintén közelebb jutnak egymáshoz, míg végre az aa_1 vonalhoz érnek. A törés tehát *sinoidszerű* vonalban megy végbe, amint azt a 37. VIII. ábra láttatja.

Ez ábrából kitűnik, hogy a nyírott felületen háromféle réteget különböztethetünk meg: a legfelsőbb $a_0 l$ réteg behorpadt s ez a *szívós alakváltozást* jelzi, az azt követő $a_0 a$ réteg fényes, mert a szerszámhoz szorult s ez az *anyag képlékenységet* mutatja, végre a harmadik $a a_1$ réteg szemcsés szerkezetű s ez a *kohézió legyőzését* igazolja.

Minél képlékenyebb az anyag, annál nagyobb a π_1 értéke, ezért annál nagyobb lesz a lenyomott $a_0 a$ rész a szemcsés $a a_1$ -hez (δ_b -hez) képest. Ezt képlettel a következőképpen fejezhetjük ki:

$$k = f\left(\frac{a_0 a}{a a_1}\right)$$

s mert a 37. IV. ábra jelzése szerint $a_0 a = \delta_e - \delta_b$, ezért:

$$k = f\left(\frac{\delta_e - \delta_b}{\delta_b}\right). \quad (76)$$

A függvény meghatározása végett ismert képlékenységgel bíró anyagokból azonos vastagságú próbatesteket nyírtunk, a kísérletekből kiszámítottuk a $\frac{\delta_e - \delta_b}{\delta_b}$ viszony értékeit s azokat a képlékenység függvényében közönséges koordináta-rendszerben rajzoltuk fel. Minthogy ekkor másodrendű görbét kaptunk, ennek utána a $\sqrt{\frac{\delta_e - \delta_b}{\delta_b}}$ értékeit vittük fel a k függvényében, amikor is oly egyenes vonalat kaptunk, mely a koordináta-rendszer kezdőpontján haladt át. Ez egyenes képlete:

$$k = \sqrt{\frac{\delta_e - \delta_b}{\delta_b}} \operatorname{ctg} \omega$$

s mert $\operatorname{ctg} \omega$ állandó, annak értékét meghatározhattuk s úgy találtuk, hogy az izotropszerű és a nem izotropszerű anyagoknál $\operatorname{ctg} \omega = 3$. A berepedés feltételének képlete tehát:

$$k = 3 \sqrt{\frac{\delta_e - \delta_b}{\delta_b}}. \quad (76/a.)$$

Hólyagos anyagoknál $\operatorname{ctg} \omega$ határértékei: $3(1 \pm 0.5)$.

Az előbbieket szerint δ_b azonban nem lehet kisebb $\frac{\delta_0}{2}$ -nél, miért is a 76/a. képlet alkalmazhatóságának határa, izotropszerű anyagok esetén:

$$k = 3 \sqrt{\frac{\delta_e - 0,5 \delta_0}{0,5 \delta_0}} = \sqrt{\frac{\delta_0}{1 + \lambda_e} - 0,5 \delta_0},$$

azaz

$$k = 3 \sqrt{\frac{1 - \lambda_e}{1 + \lambda_e}}, \quad (76/b.)$$

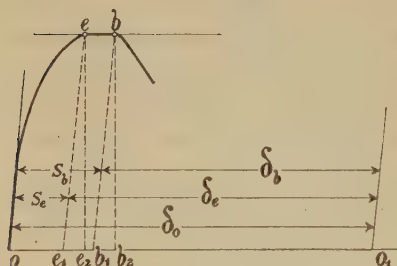
ha $\lambda_e = 0,2$, akkor $k = 2,43$

és ha $\lambda_e = 0$, úgy $k = 3$.

Nyírással tehát az olyan anyagok képlékenységi fokát is meghatározhatjuk, amelyek képlékenysége a 3-at megközelíti, holott bemetszett rudak szakításával csak 1,3-nál kisebb képlékenységgű anyagoknak képlékenységi fokát tudjuk meghatározni.

A nyírott tárgy berepedésére vonatkozó képleteink használhatóságának igazolására, az izotropszerű és a nem izotropszerű anyagok kísérleti s számított értékeit a VIII. táblázatba foglaltuk.

A nyírásra levezetett képletekben előforduló δ_e és δ_b méreteket a kísérleti nyíróerő-ábrájából határozhatjuk meg. E célból ez ábrának abszcisszájából a tárgy és a szerszám rugalmas alakváltozása kiküszöbölendő, oly módon, amint azt a 14. II. és a 17. I. ábrán tettük. A rugalmas vonal irányát nyírásnál, a nyíróerő-ábra kezdeti részével megegyezőnek vesszük. Eljárásunk tehát a következő: A 38. ábrán látott vízszintes érintő (e) első és (b) utolsó érintőpontjából meghúzzuk az ee_1 és bb_1



38. ábra.

A nyíróerő ábrája.

rugalmas erő vonalait. Azonkívül a diagram o pontjából felmérjük az $oo_1 = \delta_0$ méretet. Most már $oe_1 = s_e$ és $e_1o_1 = \delta_e$; továbbá $ob_1 = s_b$ és $b_1o_1 = \delta_b$.

95. A nyírást ismerve, a *kettős nyírásra* és a *lyukasztásra* térhetünk át. A szerszámok metszőszögét ez esetekben is 90 fokúnak, az akciós és reakciós szerszám éleit pedig pontosan egymás alatt levőknek fogjuk tekinteni. Minthogy a kettős nyírás a lyukasztástól csak a támasztószerszám éleinek elrendezésé-

ben különbözik, e két igénybevételi módot a lehetőségig együttesen fogjuk tárgyalni. A szerszám és a tárgy viszonylagos helyzetét a 39. I. ábra tünteti fel. Ebből láthatjuk, hogy a kettős nyírásnál és a lyukasztásnál az xy fősíkban teljesen olyanok a viszonyok, mint az egyszerű nyírásnál, miért is a húzott és a nyomott anyagrészek ép úgy jelölhetők, mint az előbbi esetben, vagyis meg kell húznunk az élek (a, a_1, g, g_1) metszéspontjaiból az elmozdulás irányvonalait és a szerszámokkal közvetlenül érintkező aea_1e_1 és glg_1l_1 részeket húzottaknak, az ac_1a_1c és gh_1g_1h részeket pedig nyomottaknak kell megjelölnünk. E jelölés folytán ez ábrából kitűnik, hogy az xy fősíkban a szabályos nyírás az élpárok között csak addig állhat be, míg az akciós szerszámnak $ag = d$ mérete nagyobb vagy egyenlő $2\delta_1 \operatorname{ctg} \beta_1$ -nél, vagyis míg:

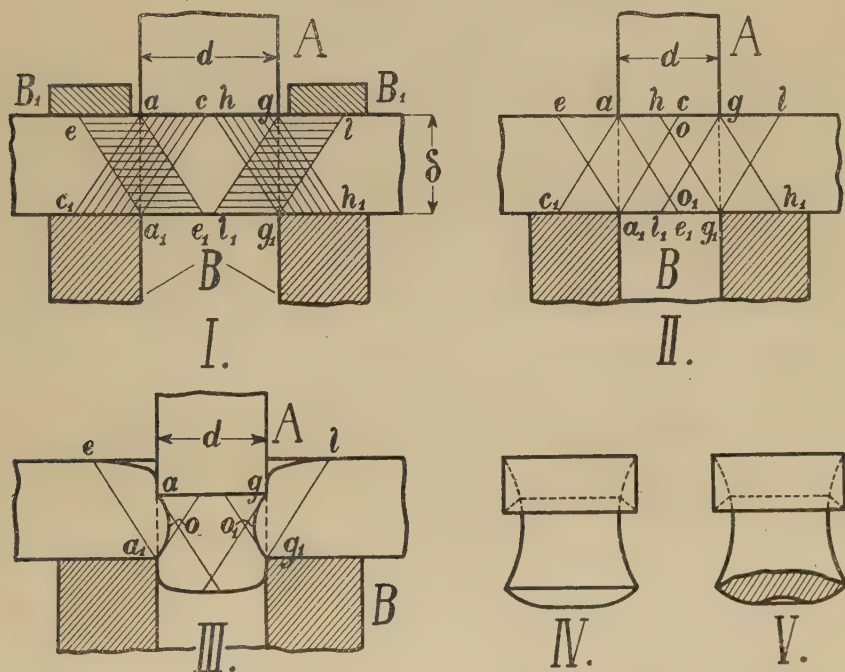
$$d \geq 2\delta_1 \operatorname{ctg} \beta_1. \quad (77.)$$

Ez a képlet adja meg tehát a szabályos lyukasztás feltételeit.

A fent jelölt ábrából még az is kitűnik, hogy a tárgy elforgatását csak a reakciós erők okozhatják, miért is ez esetben a tárgyat csak a B

szerszámhoz kell kapcsolnunk. Megjegyezzük azonban, hogy nagyméretű tárgyak lyukasztásánál ez a kapcsolás el is maradhat, mert ilyenkor maga a tárgy anyaga gátolja meg az elhajlást.

Hogy e két igénybevételi mód erőszükségletét is meghatározhassuk, a méretek viszonyát az xz síkban is ismernünk kell. *Kettős nyírásnál* a 91. pont szerint a b szélességnek a $2\delta_0 \sin \beta_e \operatorname{ctg} \beta_e = 2\delta_0 \cos \beta_e$ -hez való viszonyától függ, vajjon a z_1 érvényesül-e?



39. ábra.

A kettős nyírásnál és a lyukasztásnál érvényesülő irányvonalak.

Ha $b \equiv 2\delta_0 \cos \beta_e$, akkor $z_1 = 1$, ennél fogva az erő képlete:

$$R_e = 2\delta_0 b \frac{q_e}{1 + \lambda_e} \operatorname{ctg} \beta_e \sin^2 \beta_e,$$

de ha $b > 2\delta_0 \cos \beta_e$, akkor $z_1 > 1$ s ez esetben:

$$R_e = 2\delta_0 b \frac{q_e}{1 + \lambda_e} \sqrt{z_1} \operatorname{ctg} \beta_e \sin^2 \beta_e.$$

A z_1 értéket a 36. képlet adja meg.

Lyukasztásnál a kötöttség az xz fősíkban sohasem érvényesülhet,

mert a szélesség differenciális értéke (db) az érintő érintési pontjának méretével egyenlő. Az erő képlete tehát:

$$R_e = \int_0^{d\pi} \delta_0(db), \frac{q_e}{1+\lambda_e} \operatorname{ctg} \beta_e \sin^2 \beta_e.$$

Ha ezt integráljuk, akkor:

$$R_e = \delta_0 d\pi \frac{q_e}{1+\lambda_e} \operatorname{ctg} \beta_e \sin^2 \beta_e. \quad (78.)$$

Ez a képlet akkor érvényes, ha az anyag izotropszerű és ha a lyukasztó szerszám, nemkülönben a kitolt anyag a lyuk falával nem súrlódik. Ámde legtöbb esetben az anyag nem izotropszerű, ilyenkor pedig a nyírásnál kifejtettek szerint a kísérleti érték vasfajoknál $\operatorname{tg} \beta_e$ -szerese, réz-ötvözeteknél pedig $\operatorname{ctg} \beta_e$ -szerese a számított értéknek; ezeket a tényezőket a 78. képlet használata esetén figyelembe kell vennünk. Kísérleti tény továbbá, hogy a szerszám és a kitolt anyag a lyuk falával súrlódik; e súrlódás növeli a legnagyobb erő értékét, még pedig kísérleteink szerint mintegy 0,15-tel. A súrlódást és az izotropszerűségtől való eltérést figyelembe véve a lyukasztó erő képlete izotropszerű anyagoknál:

$$R_e = R_{\max} = \frac{\delta_0 b}{1+\lambda_e} \frac{q_e}{2} \sin 2\alpha_e 1,15 \quad (78/a.)$$

nem izotropszerű vasfajoknál:

$$R_{\max} = \frac{\delta_0 b}{1+\lambda_e} \frac{q_e}{2} \sin 2\alpha_e \operatorname{tg} \beta_e 1,15 \quad (17/b.)$$

és nem izotropszerű rézötvözeteknél pedig:

$$R_{\max} = \frac{\delta_0 b}{1+\lambda_e} \frac{q_e}{2} \sin 2\alpha_e \operatorname{ctg} \beta_e 1,15 \quad (78/c.)$$

Az eddigiekben feltételeztük, hogy $d > 2\delta_0 \operatorname{ctg} \beta_e$ -nél; foglalkozunk most azzal az esettel, amikor

$$d < 2\delta_0 \operatorname{ctg} \beta_e,$$

$$d > \delta_0 \operatorname{ctg} \beta_e \text{-nél.}$$

Ily esetekben a lyukasztás (lásd a 39. II. ábrát) még végbemegy ugyan, de az xy síkban a húzott és a nyomott területek az ohc és $o_1 l_1 e_1$ részekkel kisebbek, mint az előbbi esetben voltak, ezért az erőszükséglet e területek kisebbedése arányában csökken, t. i.:

$$R_e = \delta_0 b \frac{q_e}{1+\lambda_e} \cdot \operatorname{ctg} \beta_e \sin^2 \beta_e \cdot \left(\frac{2ae_1 a_1 e - o_1 l_1 e_1}{2ae_1 a_1 e} \right);$$

de mihielyt $d < \delta_0 \operatorname{ctg} \beta_e$, a lyukasztás lehetősége is megszűnik és az igénybevételi mód *sűrűssá* alakul át.

96. Az erőszükségletet ismerve, vegyük a rendes *lyukasztásnál* mutatkozó alakváltozás jelenségeit figyelembe.

Rideg anyagok nem lyukasztathatók, mert elrepednek; a repedés a primér nyomásból eredő hatásvonalak mentén indul meg, ezután azonban a legnagyobb szemcsék és hólyagok mentén, tehát határozatlan irányban halad tovább.

Szívós anyagok deformálódnak, t. i. a lyuk szélén az akciós oldalon az $a c = \delta c t g \beta$ széles gyűrűben méretnövelést, azaz behajlást észlelhetünk, a reakciós oldalon pedig a támasztószerszám lenyomatát látjuk. E lenyomat fölött levő anyagban a nyírásnál észlelhető duzzadás — a szabad felület hiánya miatt — nem érvényesül. A lyukasztó által kitolt darab felső felületén a szerszám lenyomata szintén látszik, alsó felületén pedig a szélek behajlása. (L. a 39. III. ábrát.)

Képlékeny anyagok lyukasztásánál a szerszám éle fölé kerülő anyag ép úgy szorul a szerszám oldalfalához, mint a nyírásnál, miért is a szerszámhoz surlódik s így a lyuk szélén, valamint a kitolt darabon a szerszám lenyomata látszik. Minthogy 3-nál kisebb képlékenységi fokkal bíró anyagok nyíráskor berepednek, a lyukasztó alatt végbemenő repedés irányával is kell foglalkoznunk. A berepedés most is az élek mentén indul meg, csak hogy nem a szerszámoktól távolodó, hanem azok alá haladó hatásvonalak mentén folytatódik, amint azt a 39. III. ábra mutatja.

E különleges berepedés következtében a kitolt anyag a lyukból ki nem eshetik, a szerszám tehát azt teljesen kitolni kénytelen. Ilyenkor azonban az $a a_1 o$ és $g g_1 o_1$ anyagrészek a szerszámnak útját állják, miért is a szerszám ezeket szintén kitolni kénytelen. A lyuk széléről pótlólag leválasztott anyag gyűrűalakú, amely a kitolt darabot összefüggő gallérként (enyven és kaucsukon pedig különálló gyűrűként) veszi körül. (Lásd a 39. IV. és 39. V. ábrát.)

Abban az esetben, ha $d < 2 \delta c t g \beta$, a kitolt darab alsó lapján a következő igen érdekes jelenség észlelhető: A 39. II. ábrán az $l_1 o_1 e_1$ -vel jelölt rész — kétirányú méretváltozása következtében — e mozgások eredő irányában, vagyis a vastagság irányában halad befelé, ezért alsó lapján $l_1 e_1$ átmérőjű körfelülete bemélyed. (Lásd a 39. V. ábrát.)

δ) A hajlítás.

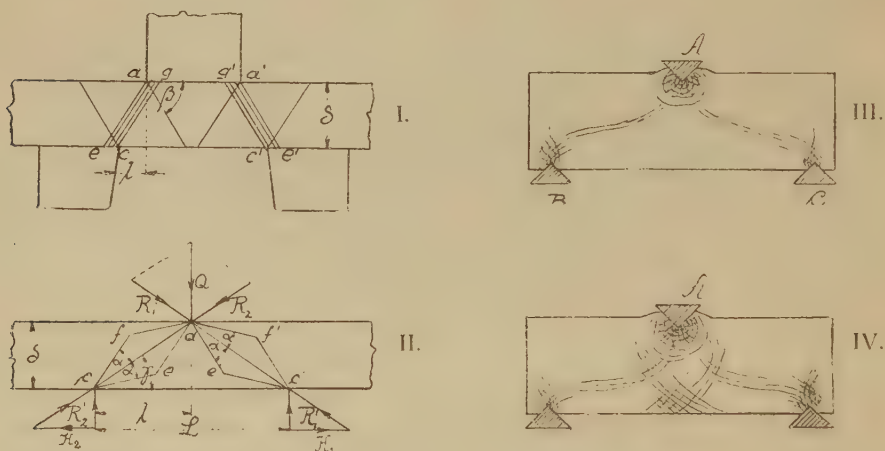
α_1) A rövid karon való hajlítás.

97. A tiszta vagy szabályos nyírás egyik feltétele, hogy mindkét szerszámnak éle a mozgás síkjába essék. Tegyük fel azonban, hogy e feltételeknek nem teszünk eleget, és hogy e célból az akciós és reakciós szerszám mozgás-síkjait l távolságban helyezzük el egymástól, amint ez a 40. I. ábrán látható. Ilyen viszonyok között nő a húzott rész, de a nyomott kisebbedik. Az erőszükséglet meghatározására, a kettős nyírásból

kiindulva, fokozatosan növekedő (l) élközökkel végeztünk kísérleteket. Ezek eredményei a IX. táblázat első csoportját alkotják. A kísérletek tanúsága szerint az l növekedésével, vagyis a nyomott rész $ag = \delta \operatorname{ctg} \beta - l$ (40.1.) méretének kisebbedésével csökken a nyíróerő is, még pedig $\sqrt[3]{\frac{\delta \operatorname{ctg} \beta - l}{\delta \operatorname{ctg} \beta}}$ arányában, vagyis

$$R = R_{\max} \sqrt[3]{1 - \frac{l}{\delta \operatorname{ctg} \beta}}. \quad (79.)$$

Minél nagyobb az l köz, annál nagyobb a külső erők forgató nyomatéka, de annál kisebb azok nyíró hatása. Ez a kombinált igénybevétel



40. ábra.

Rövid karon való hajlításnál érvényesülő felszínrajzok.

csak addig tart, míg $l < \delta \operatorname{ctg} \beta$. Amint $\frac{l}{\delta \operatorname{ctg} \beta} = 0,8$ értékűvé válik, a 79. képlet érvényességének határát éri el, mert ezentúl a hajlító erő nagyobb a nyíró erőnél. Mihelyt $l > \delta \operatorname{ctg} \beta$, a nyíróhatás zérus lesz. Az igénybevétel e fajtát *rövid karon való hajlításnak* nevezzük. Ennél az erőhatások a felszínrajzok útmutatása nyomán a következők: HARTMANN megfigyelései szerint az első időszakban a szerszámok primér hatása érvényesül, vagyis az élek bevágódnak (lásd a 39. III. ábrát). E bevágódás következtében az A szerszám a B és C szerszámhoz közeledik, tehát meg-rövidül az élek AB és AC távolsága, ami az ez irányokban levő anyag-nak összenyomását eredményezi. Hogy e nyomás irányát jelölhessük, bontsuk fel az akciós erőt e két irányba eső R_1 és R_2 komponensekre (lásd a 40. II. ábrát), a reakciós erőket pedig oly két komponensre, amelyek közül az egyik (R'_1, R'_2) az előbbieik irányába esik, a másik (H_1, H_2) pedig a külső erő irányára normális.

Nyomást tehát az $R_1 R'_1$ és $R_2 R'_2$ komponensek okoznak, a húzást ellenben a H_1 és H_2 komponensek az alsó alátámasztó lapból kiindulva fejtik ki. Nyomás következtében az elmozdulás irányvonalai az erőkkel α szöget alkotnak, miért is ezeket az akciós szerszám mellett az af , ae és af' , ae' vonalakkal, a reakciós szerszámok mellett pedig be , bf és ce' , cf' vonalakkal érzékelhetjük meg. Ámde ezek az irányvonalak a szomszédos részek gátlása folytán elgörbülnek, amint ezt a szúrásnál és vágásnál már kifejtettük. A szerszám közelében levő irányvonalak tehát a szabad felületre majdnem merőlegesek, beljebb azonban csökken a hajlásszögük, vagyis homorúakká válnak, amint ez a 39. III. ábrából is kitűnik. Minthogy az irányvonalak az akciós és reakciós szerszámoktól kiindulva egyidejűleg képződnek, ezek végre egybeesnek és az ábrán látható kettős görbületű vonalat eredményezik. A húzókomponensek hatása következtében elsősorban a támasztólap közepén egyenes vonalú hálózat keletkezik. A szabad felületen is tovább terjed a hálózat, de már eltorzulva, amint ez a 40. IV. ábrán látható.

A 40. II. ábrából még az is kitűnik, hogy a rövid karon való hajlítás csak addig érvényesülhet, míg a reakciós oldalon a ce és a $c'e'$ elmozdulás irányvonalai a tárgyból ki nem lépnek, vagyis míg $l < \delta \operatorname{tg} \beta$. Mihelyt $l > \delta \operatorname{tg} \beta$, a komponensek nyomóhatása megszűnik, és ettől kezdve a külső erő csupán nyomatékkával hat, miért is ezt az igénybevételi módot *hosszú karon való hajlításnak* fogjuk nevezni.

98. Mielőtt az utóbb nevezett igénybevételi módra áttérnénk, a rövid karon való hajlítás erőszükségletét fogjuk megállapítani.

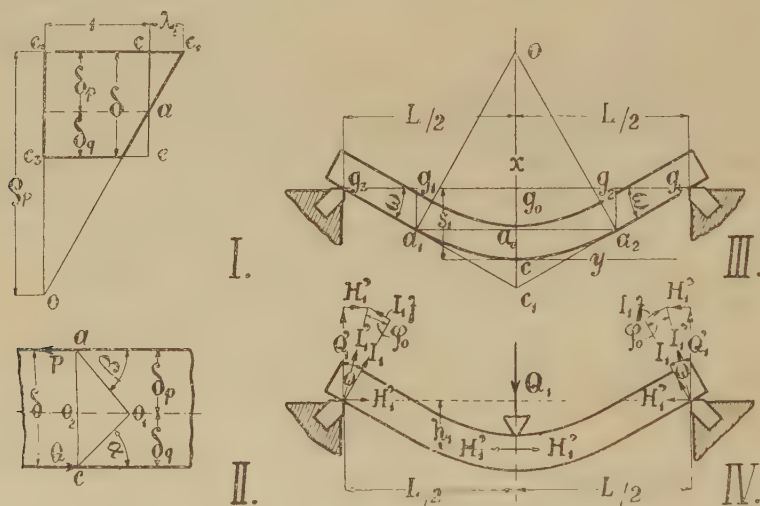
IX. táblázat.

Az anyag jellemzői: 486. sz. $p_a = 20,0 \text{ kg/mm}^2$; $p_c = 48,0 \text{ kg/mm}^2$; $\lambda_c = 200$; $\operatorname{tg}^2 \beta = 1,24$; $k = 0,6 - 1,3$. A próbatest méretei: $b = 12 \text{ mm}$; $e = 6 \text{ mm}$. A támasztó élek távolsága: $T_1 = 50 \text{ mm}$.						
A támadó szerszám éleinek távolsága $T_2 \text{ mm}$	l mm	$\frac{l}{\delta \operatorname{ctg} \beta}$	$\sqrt[3]{1 - \frac{l}{\delta \operatorname{ctg} \beta}}$	A 79. képletből számított R	$R \text{ kg}$ kísérleti	M e g j e g y z é s
50	0	0,0	0	4400	4400	A próbatest elnyíródott.
48	1	0,19	0,93	4100	4160	« « «
46	2	0,37	0,85	3750	3550	« « «
44	3	0,56	0,76	3350	3400	« « «
42	4	0,74	0,64	2810	2880	« « «
40	5	0,93	0,41	1800	2610	« « «
H a j l í t á s				Ql kísérleti	Q kg kísérleti	A próbatest elhajlott s berepedt. « « «
38	6	1,12	—	13860	2310	
32	9	1,67	—	14760	1640	
24	13	2,42	—	13130	1010	

E célból egyforma méretű próbatesteket $l = \delta \operatorname{ctg} \beta$ és $l \geq \delta \operatorname{tg} \beta$ határok közé eső támasztó közök alkalmazásával hajlítottunk meg. A kísérletek eredményeit és az anyag jellemző sajátságait a IX. táblázatba foglaltuk össze. Ebből kitűnik, hogy rövid karon való hajlítás esetén a külső erő nyomatóka ugyanolyan nagyságú, mint hosszú karon való hajlításakor, vagyis hogy $Q_1 l_1 = Q_2 l_2 = 2M_K$; ez okból a szükséges hajlító erőt csak ez utóbbi igénybevétel tárgyalásakor állapítjuk meg.

β_1) A hosszú karon való hajlítás.

99. A hosszú karon való hajlításnak feltétele az eddigiek szerint az, hogy $l > \delta \operatorname{tg} \beta$, de hogy a testet az elcsavarástól megóvjuk, még az is szükséges, hogy az erők eredői egy síkban legyenek.



41. ábra.

A neutrális tengely helye és alakja hosszú karon való hajlításnál.

E feltételek betartása esetén a szívós alakváltozásoknál a következő jelenségek észlelhetők:

1. Meghajlítás következtében a tárgy magassága változatlan marad és az oldalfalakon a tárgy tengelyére merőleges irányban rajzolt vonalak a próbatest meghajlítása folytán sem változtatják meg alakjukat, hanem egyenesek maradnak.

E jelenségből következik, hogy szívós alakváltozásnál a keresztmetszet síkjai síkok maradnak. Ezt tudva, a 41. I. ábrán jelzett geometriai összefüggést írhatjuk fel. E célból jelöljük a húzott réteg magasságát $\bar{z}_p$ -vel, a nyomottét $\bar{z}_q$ -val, a fajlagos méretnövekedést λ_1 -gyel és a görbület sugarát ρ_p -vel. A $c c_1 a$ és $c_0 c_1 o$ háromszögek hasonlóságából következik, hogy:

$$\rho_p : (1 + \lambda_1) = \bar{z}_p : \lambda_1,$$

ebből:

$$\frac{1}{\rho_p} = \frac{1}{\delta_p} \cdot \frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1}. \quad (80.)$$

2. Igen figyelemre méltó jelenség érvényesül a tárgy felszíni rajzai útján is.

A meghajlított hasáb oldalfalain ugyanis, mint ez a 42. ábra felső képén látható, olyan felszínrajzok keletkeznek, amelyek egyenes vonalakból alkotvák, irányuk pedig a felület érintőjével a domború oldalon β szöget, a homorú oldalon pedig α szöget zár be. Jellemző, hogy e vonalak a külső rétegekből kiindulva addig haladnak befelé, míg egymást metszik.

Ebből következik, hogy a külső rétegekből kiinduló irányvonalak metszéspontjai a neutrális rétegben fekszenek és hogy a keresztmetszetre ható húzó- és nyomóerők mindig a felület érintő irányában, tehát a keresztmetszetre normálisan működnek.

Ezt tudva, a neutrális réteget a következő módon határo-

hatjuk meg: Legyen a 41. II. ábrán jelölt rúd veszélyes keresztmetszete ac ; minthogy a ható P és Q erők erre normálisak, az a pontból a β szög alatti, a c -ből pedig az α szög alatti irányvonalakat kell meghúznunk. E vonalak o_1 metszéspontjával a neutrális réteg helyzete meg lévén határozva, az erre vonatkozó geometriai összefüggést így írhatjuk:

$$o_1 o_2 = \delta_p c / g \beta = \delta_q t g \beta,$$

ebből:

$$\frac{\delta_p}{\delta_q} = t g^2 \beta. \quad (80/a.)$$

Ha pedig a magassági méretnek előbb említett állandóságát ez ábra jelzéseivel fejezzük ki, akkor:

$$\delta_p + \delta_q = \delta. \quad (80/b.)$$



42. ábra.

A meghajlított hasáb felszín-rajzai.

A 80/a. és 80/b. képleteket összevonva, a neutrális tengely helyzetére a következő képletet kapjuk:

$$\delta_p = \delta \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta}. \quad (80/c.)$$

3. Az eddigieken kívül figyelembe veendő még a meghajlított próbatest alakjára vonatkozó következő jelenség is.

Kísérletek tanúsága szerint a két pontban alátámasztott rúd alakja, feltéve, hogy alakváltozása nem lépte túl a szívósság határát, tehermentesítés után a 41.III. ábrának felel meg. Ez alakra jellemző, hogy a támasztó pontokhoz közel fekvő részei egyenesek maradtak, középső része azonban oly görbe vonal, melynek érintői az egyenes darabok irányaival összeesnek. További jellemzője a görbének még az is, hogy az érintőpontokat összekötő $a_1 a_2$ egyenest felezi az a vonal, amely az érintők metszéspontját, c_1 -t, a görbe csúcspontjával, c -vel, összeköti és hogy $a_0 c = c c_1$. A görbe e jellemző tulajdonságaiból következik, hogy a meghajlított rúd alakja *parabola*, amelynek csúcsponti egyenlete:

$$y^2 = 2 \psi x.$$

Minthogy a parabola csúcspontjának görbületi sugara a paraméterrel egyenlő, ezért a ψ helyett ρ_p -t is írhatunk:

$$y^2 = 2 \rho_p x. \quad (81.)$$

A görbületi sugár értéke a 80. és 80 c. képletek folytán ismeretes lévén, a 81. képletből a behajlás nagyságának, vagyis a hajlító erő útjának az értékét is meghatározhatjuk.

A hajlító erő teljes útja a 41.III. ábra szerint:

$$s_1 = g_0 c = a_0 c + g_0 a_0 \quad (82.)$$

és mert

$$a_0 c = x = \frac{y^2}{2 \rho_p} = \frac{a_0 a_1^2}{2 \rho_p} = \frac{g_0 g_1^2}{2 \rho_p},$$

továbbá

$$g_0 a_0 = g_1 a_1' = g_1 g_3 \cdot tg \omega,$$

tehát

$$s_1 = \frac{g_0 g_1^2}{2 \rho_p} + g_1 g_3 tg \omega.$$

E képletben a $tg \omega$ még ismeretlen, de mert a szerszámnak parabolikus részre jutó útját, $\left(x = \frac{y^2}{2 \rho_p}\right)$ -t, ismerjük s mert az út első differenciálhányadosa az érintő hajlásszögének tg -ét adja, azért:

$$tg \omega = \frac{dx}{dy} = \frac{y}{\rho_p}. \quad (83.)$$

Az y értéke a 41. III. ábra szerint:

$$y = g_1 g_0 = \frac{L}{2} - g_1 g_3 = \frac{L}{2} \left(1 - \frac{g_1 g_3}{\left(\frac{L}{2}\right)} \right).$$

De mert a $g_1 g_3$ távolságban fekvő keresztmetszetben a feszültség akkor p_a , ha az $\left(\frac{L}{2}\right)$ távolban fekvőben a p_e értéket elérte, így kétségtelen, hogy e hosszak és feszültségek viszonyai között valamelyes összefüggés áll fenn. Úgy találtuk, hogy e mennyiségek arányosak, vagyis:

$$\frac{g_1 g_3}{\left(\frac{L}{2}\right)} = \frac{p_a}{p_e}.$$

Ezt az összefüggést az y -nek fenti értékébe téve és az egészet a 83. képletbe helyettesítve lesz:

$$tg \omega = \frac{L}{2 \rho_p} \left(1 - \frac{p_a}{p_e} \right). \quad (83/a.)$$

A $tg \omega$ értékét az s_1 képletébe helyezve kapjuk:

$$s_1 = \frac{L^2}{8 \rho_p} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_e} \right)^2 \right] \quad (83/b.)$$

és ha ebben ρ_p értékét a 80. és δ_p értékét 80/c. képletekkel fejezzük ki, akkor:

$$s_1 = \frac{L^2}{8 \delta} \left(\frac{1 + tg^2 \beta}{tg^2 \beta} \right) \left(\frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1} \right) \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_e} \right)^2 \right]. \quad (83/c.)$$

4. Az utolsó, itt figyelembe veendő jelenség végre abban áll, hogy a hajlított test a támasztókkal érintkező részén fényessé válik. Ez a jelenség kétségtelen bizonyítéka annak, hogy a tárgy a támasztékon csúszott. E csúszás a külső erők nyomatókát befolyásolja, miért is a következőkben e befolyás nagyságát fogjuk meghatározni.

100. Tegyük fel, hogy a tárgy már elhajlott. Ekkor a támasztók reakciója (I_1) az érintkező felületre normális. A csúszás ellen $I_1 f = I_1 tg \varphi_0$ surlódás hat, miért is a reakció teljes értéke az ábra szerint: I_1' . De mert az akciós Q_1 erő iránya az I_1' -től eltér, ezért az utóbbit a Q_1 -el párhuzamos Q_1' -re és erre normális H_1' -re kell felbontanunk.

A H_1' komponensnek a veszélyes keresztmetszetre kifejtett nyomatékát kell meghatároznunk, miért is ezt a neutrális tengelybe áthelyezve képzeljük; ebből már most következik, hogy annak karja:

$$h_1 = s_1 - \delta_p = s_1 - \delta \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta}.$$

Ennélfogva a Q_1' és H_1' komponensek nyomatéka:

$$2M_k = \frac{Q_1' L}{2} + H_1' h_1$$

s mert abban az esetben, ha az akciós erő a támasztóköz közepére hat: úgy: $Q_1' = \frac{Q_1}{2}$, és akkor:

$$2M_k = \frac{Q_1 L}{4} + H_1' h_1. \quad (84.)$$

A H_1' komponenst az ábrán látható geometriai összefüggésből határozhatjuk meg, ebből ugyanis:

$$H_1' = Q_1' \operatorname{tg}(\omega - \varphi_0) = \frac{Q_1}{2} \frac{\operatorname{tg} \omega - \operatorname{tg} \varphi_0}{1 + \operatorname{tg} \omega \operatorname{tg} \varphi_0}$$

$$\text{és} \quad H_1' h_1 = \frac{Q_1}{2} \frac{\operatorname{tg} \omega - \operatorname{tg} \varphi_0}{1 + \operatorname{tg} \omega \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \left(s_1 - \delta \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} \right). \quad (85.)$$

A 85. képlet értékeit a 84. képletbe téve:

$$2M_k = \frac{Q_1 L}{4} \left\{ 1 + \frac{2}{L} \left[\frac{\operatorname{tg} \omega - \operatorname{tg} \varphi_0}{1 + \operatorname{tg} \omega \operatorname{tg} \varphi_0} \left(s_1 - \delta \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} \right) \right] \right\} \quad (84. a.)$$

A 85. képletből következik, hogy $H_1' h_1$ nyomaték három esetben lehet zérus. Az első eset az, amikor a tárgy még egyenes, illetőleg $Q_1 = 0$, a második, amikor $\omega = \varphi_0$, vagyis az egyenes rész hajlásszöge a surlódás szögével egyenlő, a harmadik eset pedig az, amikor $s_1 = \delta_p$, vagyis amikor a rúd annyira behajlott, hogy a neutrális réteg a támasztópontok összekötő vonalába esik, sőt akkor, amikor $\omega > \varphi_0$ és $s_1 < \delta_p$, vagyis a nyomaték negatív.

A legfontosabb jelenségeket és az ezekből levonható következtetéseket ismerve, a nyomaték számításához foghatunk.

101. Egyensúly esetén a belső erők nyomatéka egyenlő a külső erők nyomatékával:

$$2M_K = 2M_B. \quad (84/b.)$$

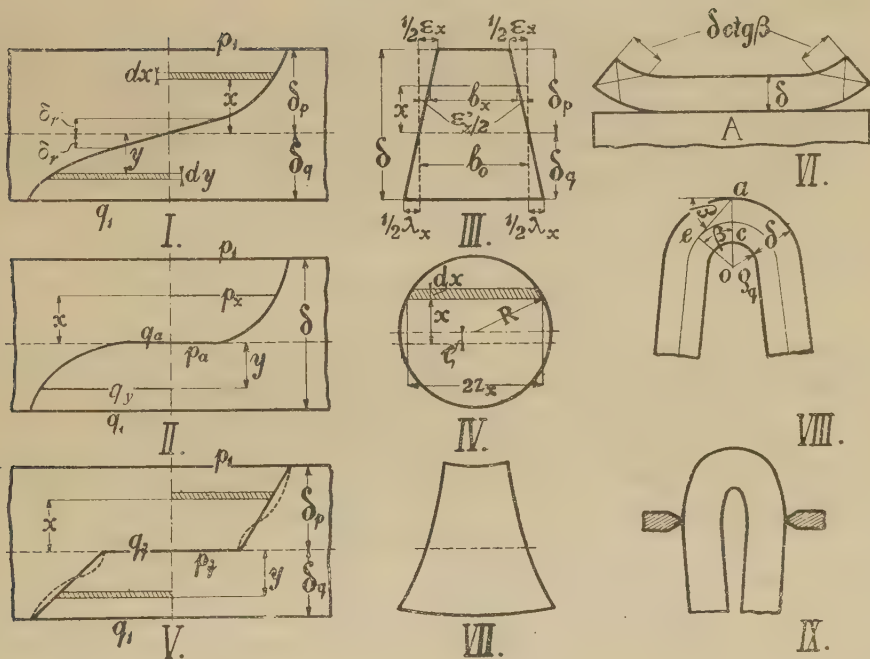
De mert a belső erők kétfélék, t. i. húzók és nyomók, ezért:

$$2M_B = 2M_p + 2M_q. \quad (84/c.)$$

A belső erők nyomatékának meghatározása céljából azonban a veszélyes keresztmetszetben az erőelosztás törvényszerűségét is kell ösmernünk. Minthogy az előbbieket szerint a fajlagos megnyúlások a neutrális tengelytől mért távolsággal lineárisan változnak és mert a feszültségek a fajlagos megnyúlásokkal a rugalmassági határig lineárisak, ezen túl pedig másodfokú viszonyban állanak, következik, hogy a σ_x és σ_y feszültségek a neutrális tengelytől mért távolsággal a rugalmassági határig lineárisak, a $\dot{p}_x$ és q_y pedig azzal másodfokú viszonyban állanak, amint ezt a 43. l. ábra jelzi.

Ez alapon a belső erők nyomatékát, ha a keresztmetszet differenciális részét $d(F)$ -el, a neutrális tengelytől mért távolságát x -el és y -nal jelöljük, így fejezhetjük ki:

$$\left. \begin{aligned} 2M_p &= \int_0^{\partial_r} \sigma_x x_r d(F) + \int_{\partial_r}^{\partial_p} p_x x d(F) \\ 2M_q &= \int_0^{\partial_r} \sigma_y y_r d(F) + \int_{\partial_r}^{\partial_q} q_y y d(F) \end{aligned} \right\} \quad (86).$$



43. ábra.
Feszültségek eloszlása hajlított testben.

Maradó alakváltozások esetén a rugalmas réteg oly csekély méretű, hogy a nyomatékok kiszámításában igen csekély hibát követünk el, ha azt elhanyagoljuk, vagyis ha ∂_r értékét 0-nak vesszük. Ezt az esetet a 43.II. ábra mutatja. A nyomatékok képlete ekkor:

$$\left. \begin{aligned} 2M_p &= \int_0^{\partial_p} p_x x d(F) \\ 2M_q &= \int_0^{\partial_q} q_y y d(F) \end{aligned} \right\} \quad (86/a).$$

Az integrál jel alatt szereplő feszültségek értékei:

$$p_x = p_a + \frac{p_1 - p_a}{\sqrt{\delta_p}} \sqrt{x} \quad \text{és} \quad q_y = q_a + \frac{q_1 - q_a}{\sqrt{\delta_q}} \sqrt{y}.$$

A keresztmetszet differenciális részének $[d(F)]$ képlete a próbatest keresztmetszetének alakjától függ, ezért a technológiában leggyakrabban alkalmazott alakokra a $d(F)$ értékét megállapítjuk.

102. *Négyszög-keresztmetszet esetén, ha a szélesség a vastagság tízszerese vagy ennél nagyobb, vagyis, ha $b_0 \leq 10\delta$, a szélesség változatlan marad:*

$$b_1 = b_x = b_0. \quad (87.)$$

Az ilyen testet *lemeznek* mondjuk; ha azonban $b_0 \leq \delta$, a tárgy szélessége a húzott oldalon csökken, a nyomott oldalon pedig nő s az ilyen próbatest neve: *rúd*.

Hogy *rudak* méretváltozásait kiszámíthassuk, figyelembe vesszük elsősorban azt, hogy δ a szívós alakváltozás folyama alatt állandó:

$$\delta_p + \delta_q = \delta_p - \delta_p \varepsilon_x + \delta_q + \delta_q \lambda_y,$$

ebből következik, hogy:
$$\frac{\delta_p}{\delta_q} = \frac{\lambda_y}{\varepsilon_x} = \operatorname{tg}^2 \beta; \quad (88.)$$

továbbá figyelembe vesszük azt is, hogy a méretnövelés a húzott részben egyirányú, a nyomottban pedig kétirányú, vagyis, hogy:

$$(1 + \lambda_x)(1 - \varepsilon_x)^2 = 1 \quad \text{és} \quad (1 + \lambda_y)^2(1 - \varepsilon_y) = 1,$$

ebből, ha a kisértékű λ és ε hatványát és szorzatát elhanyagolhatjuk, kapjuk, hogy:

$$\lambda_x = 2\varepsilon_x \quad \text{és} \quad 2\lambda_y = \varepsilon_y,$$

ez alapon a 88. képlet így írható:

$$\frac{\lambda_y}{\varepsilon_x} = \frac{\varepsilon_y}{\lambda_x} = \operatorname{tg}^2 \beta. \quad (88/a.)$$

A megváltozott szélességet pedig a következő módon fejezhetjük ki:

$$b_{x'} = b_0(1 - \varepsilon_x').$$

A 43. III. ábra szerint $\varepsilon_x' = \varepsilon_x \frac{x}{\delta_p}$, ha ezt és a 88/a. képlet értékét b_x képletébe helyettesítjük, úgy ez a következő alakot nyeri:

$$b_x = b_0 \left(1 - \frac{\varepsilon_x \cdot x}{\delta_p} \right) = b_0 \left(1 - \frac{\lambda_x \cdot x}{2\delta_p} \right) \quad (87/a.)$$

hasonló eljárással:
$$b_y = b_0 \left(1 + \frac{\lambda_y \cdot y}{2\delta_q} \right) = b_0 \left(1 + \frac{\varepsilon_y \cdot y}{2\delta_q} \right)$$

Ezek alapján $d(F)$ értéke *lemezek* esetén:

a húzott rétegben $d(F) = b_0 dx$, a nyomottban pedig $d(F) = b_0 dy$, (89.)

rudak esetén pedig:

$$d(F) = b_0 \left(1 - \frac{\lambda_x x}{2 \delta_p} \right) dx, \text{ vagy } d(F) = b_0 \left(1 + \frac{\varepsilon_y y}{2 \delta_q} \right) dy. \quad (89/a.)$$

Ezeket ismerve, a nyomatékok számításához foghatunk.

Lemezek hajlításakor a nyomatékokat úgy kapjuk, ha a 86. a. képletbe a p_x és $d(F)$ megfelelő értékeit helyettesítjük:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}_p &= b_0 p_a \int_0^{\delta_p} x dx + b_0 \frac{p_1 - p_a}{\sqrt{\delta_p}} \int_0^{\delta_p} x^{3/2} dx \\ \mathfrak{M}_q &= b_0 q_a \int_0^{\delta_q} y dy + b_0 \frac{q_1 - q_a}{\sqrt{\delta_q}} \int_0^{\delta_q} y^{3/2} dy \end{aligned} \right\}. \quad (86/b.)$$

Az integrálást elvégezve és az egyenletet rendezve, az eredmény ez lesz:

$$\mathfrak{M}_p = b_0 \delta_p^2 p_1 0,4 \left(1 + 0,25 \frac{p_a}{p_1} \right),$$

$$\mathfrak{M}_q = b_0 \delta_q^2 q_1 0,4 \left(1 + 0,25 \frac{q_a}{q_1} \right).$$

és ezek alapján:

$$\mathfrak{M}_B = b_0 \delta_p^2 p_1 0,4 \left(1 + 0,25 \frac{p_a}{p_1} \right) \left[1 + \frac{\delta_q^2 q_1}{\delta_p^2 p_1} \frac{1 + 0,25 \frac{q_a}{q_1}}{1 + 0,25 \frac{p_a}{p_1}} \right]. \quad (90.)$$

Ez egyenletekben szereplő p_1 és q_1 a szélső rétegek feszültségeit jelzi. Minthogy adott ρ_p görbületi sugar esetén ezek közül csak p_1 számítható ki, ezért még a q_1 és p_1 közötti viszony is meghatározandó. E feladatot a belső erők egyensúlya alapján oldhatjuk meg.

A 36. II. ábra szerint:

$$P = \int_0^{\delta_p} p_x d(F) \quad \text{és} \quad Q = \int_0^{\delta_q} q_y d(F); \quad (91.)$$

ebbe a p_x , q_y és $d(F)$ értékét helyettesítve:

$$P = b_0 p_a \int_0^{\delta_p} dx + b_0 \frac{p_1 - p_a}{\sqrt{\delta_p}} \int_0^{\delta_p} x^{1/2} dx,$$

integrálva és rendezve:

$$P = b_0 \delta_p p_1 0,667 \left(1 + 0,5 \frac{p_a}{p_1} \right), \quad (91/a.)$$

hasonló módon: $Q = b_0 \delta_q q_1 0,667 \left(1 + 0,5 \frac{q_a}{q_1} \right);$

de mert $P = Q$, azért:

$$\frac{\delta_p}{\delta_q} = \frac{q_1}{p_1} \frac{1 + 0,5 \frac{q_a}{q_1}}{1 + 0,5 \frac{p_a}{p_1}}$$

és mert

$$\frac{\delta_p}{\delta_q} = tg^2 \beta,$$

azért:

$$\frac{q_1}{p_1} \frac{1 + 0,5 \frac{q_a}{q_1}}{1 + 0,5 \frac{p_a}{p_1}} = tg^2 \beta; \quad (92.)$$

továbbá mert

$$\frac{q_1}{p_1} = tg^2 \beta,$$

azért a 92. egyenlet azonban csak akkor állhat fenn, ha

$$\frac{q_a}{q_1} = \frac{p_a}{p_1}, \quad (92/a.)$$

azaz, ha az anyag nem izotropszerű.

A 92 a. képlet eredményét a 90. képletbe helyettesítve, a nyomatókók összegét a következőképen fejezhetjük ki:

$$\begin{aligned} 2\mathfrak{N}_B &= b_0 \delta^2 p_1 0,4 \left(1 + 0,25 \frac{p_a}{p_1} \right) \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta}, \\ 2\mathfrak{N}_B &= \frac{\delta}{\delta/2} p_1 2,4 \left(1 + 0,25 \frac{p_a}{p_1} \right) \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta}. \end{aligned} \quad (90/a.)$$

Négyszögkeresztmetszetű rudak hajlításakor érvényesülő nyomatókók képletét kapjuk, ha a 86 a-ba a 89/a értékét helyettesítjük:

$$\begin{aligned} 2\mathfrak{N}_p &= b_0 p_a \int_0^{\delta_p} x dx - \frac{\lambda_x b_0}{2 \delta_p} p_a \int_0^{\delta_p} x^2 dx + b_0 \frac{p_1 - p_a}{\sqrt{\delta_p}} \int_0^{\delta_p} x^3 dx \\ &\quad - \frac{b_0 \lambda_x p_1 - p_a}{2 \delta_p \sqrt{\delta_p}} \int_0^{\delta_p} x^{5/2} dx, \\ 2\mathfrak{N}_q &= b_0 q_a \int_0^{\delta_q} y dy + \frac{\epsilon_y b_0}{2 \delta_q} q_a \int_0^{\delta_q} y^2 dy + b_0 \frac{q_1 - q_a}{\sqrt{\delta_q}} \int_0^{\delta_q} y^3 dy \\ &\quad + \frac{b_0 \epsilon_y q_1 - q_a}{2 \delta_q \sqrt{\delta_q}} \int_0^{\delta_q} y^{5/2} dy. \end{aligned}$$

Az integrálást elvégezve és az egyenletet rendezve, a képlet alakja:

$$\begin{aligned} 2\mathfrak{N}_p &= b_0 \delta_p^2 p_1 \left[0,4 + 0,1 \frac{p_a}{p_1} - \lambda_x \left(0,143 + 0,023 \frac{p_a}{p_1} \right) \right], \\ 2\mathfrak{N}_q &= b_0 \delta_q^2 q_1 \left[0,4 + 0,1 \frac{q_a}{q_1} + \epsilon_y \left(0,143 + 0,023 \frac{q_a}{q_1} \right) \right]; \end{aligned}$$

e képletbe a 88. a képlet értékét: $\varepsilon_y = \lambda_x t g^2 \beta$ helyettesítjük és azonfelül a következő jelölést alkalmazzuk:

$$0,4 + 0,1 \frac{p_a}{p_1} - \lambda_x \left(0,143 + 0,023 \frac{p_a}{p_1} \right) = A_1,$$

$$0,4 + 0,1 \frac{q_a}{q_1} + t g^2 \beta \lambda_x \left(0,143 + 0,023 \frac{q_a}{q_1} \right) = B_1,$$

$$\text{akkor:} \quad 2M_B = b_0 \delta_p^2 p_1 A_1 \left[1 + \frac{B_1}{A_1} \left(\frac{\delta_q}{\delta_p} \right)^2 \frac{q_1}{p_1} \right]. \quad (93. a.)$$

Most még a feszültségek viszonyát kell a belső erők egyenlőségéből meghatároznunk. A 91. képlet szerint:

$$P = \int_0^{\delta_p} p_x d(F) \quad \text{és} \quad Q = \int_0^{\delta_q} q_x d(F).$$

A $d(F)$ értékét a 89. a. képlettel kifejezve:

$$\begin{aligned} P &= b_0 p_a \int_0^{\delta_p} dx - \frac{\lambda_x b_0}{2 \delta_p} p_a \int_0^{\delta_p} x dx + \frac{b_0 (p_1 - p_a)}{\sqrt{\delta_p}} \int_0^{\delta_p} x^{1/2} dx \\ &\quad - \frac{\lambda_x b_0 p_1 - p_a}{2 \delta_p \sqrt{\delta_p}} \int_0^{\delta_p} x^{3/2} dx, \\ Q &= b_0 q_a \int_0^{\delta_q} dy + \frac{\varepsilon_y b_0}{2 \delta_q} q_a \int_0^{\delta_q} y dy + \frac{b_0 (q_1 - q_a)}{\sqrt{\delta_q}} \int_0^{\delta_q} y^{1/2} dy \\ &\quad + \frac{\varepsilon_y b_0 (q_1 - q_a)}{2 \delta_q \sqrt{\delta_q}} \int_0^{\delta_q} y^{3/2} dy. \end{aligned}$$

A jelölt műveleteket elvégezve, az egyenletek a következőképen írhatók:

$$\begin{aligned} P &= b_0 \delta_p p_1 \left[0,66 + 0,33 \frac{p_a}{p_1} - \lambda_x \left(0,2 + 0,05 \frac{p_a}{p_1} \right) \right], \\ Q &= b_0 \delta_q q_1 \left[0,66 + 0,33 \frac{q_a}{q_1} + \varepsilon_y \left(0,2 + 0,05 \frac{q_a}{q_1} \right) \right] \end{aligned}$$

és mert:

$$P = Q, \quad \varepsilon_y = \lambda_x t g^2 \beta, \quad \frac{\delta_p}{q} = t g^2 \beta,$$

következik, hogy:

$$q_1 = p_1 t g^2 \beta \left[\frac{0,66 + 0,33 \frac{p_a}{p_1} - \lambda_x \left(0,2 + 0,05 \frac{p_a}{p_1} \right)}{0,66 + 0,33 \frac{q_a}{q_1} + t g^2 \beta \lambda_x \left(0,2 + 0,05 \frac{q_a}{q_1} \right)} \right].$$

Ha pedig a következő jelölést használjuk:

$$0,66 + 0,33 \frac{p_a}{p_1} - \lambda_x \left[0,2 + 0,05 \frac{p_a}{p_1} \right] = C_1,$$

$$0,66 + 0,33 \frac{q_a}{q_1} + t g^2 \beta \lambda_x \left[0,2 + 0,05 \frac{q_a}{q_1} \right] = E_1,$$

akkor:
$$q_1 = p_1 t g^2 \beta \frac{C_1}{E_1}.$$

Ezt a 93/a-ba helyettesítve:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{N}_B &= b_0 \delta^2 \frac{t g^2 \beta}{(1 + t g^2 \beta)^2} p_1 A_1 \left[t g^2 \beta + \frac{B_1 C_1}{A_1 E_1} \right], \\ \mathfrak{N}_B &= \frac{\beta}{\delta^{1/2}} \frac{t g^2 \beta}{(1 + t g^2 \beta)^2} 6 p_1 A_1 \left[t g^2 \beta + \frac{B_1 C_1}{A_1 E_1} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (93/b).$$

103. Körkeresztmetszetű rudak hajlításakor érvényesülő nyomatókók kiszámításánál figyelembe kell vennünk, hogy a szívós alakváltozás folyama alatt a keresztmetszet alakja változatlan, miért is annak differenciális értéke a 43. IV. ábra szerint:

$$\begin{aligned} d(F_x) &= 2 z_x d x = 2 \left[\overline{R^2 - (x - \zeta)^2} d x \right], \\ d(F_y) &= 2 z_y d y = 2 \left[\overline{R^2 - (y + \zeta)^2} d y \right], \end{aligned}$$

ebben: $\zeta = R - \delta_q$ és $\delta = 2 R$,

tehát:
$$\zeta = R \left(1 - \frac{2}{1 + t g^2 \beta} \right) = R \left(\frac{t g^2 \beta - 1}{1 + t g^2 \beta} \right) = R \cdot a.$$

A gyökjel alatti mennyiség közelítő értékét helyettesítve:

$$d(F_x) = 2 d x \left(R - \frac{(x - \zeta)^2}{2 R} \right) \text{ és } d(F_y) = 2 d y \left(R - \frac{(y + \zeta)^2}{2 R} \right);$$

ha ez utóbbi egyenletbe $\zeta = a \cdot R$ kifejezést behozzuk:

$$d(F_x) = \left[R(2 - a^2) + 2 a x - \frac{x^2}{R} \right] d x,$$

$$d(F_y) = \left[R(2 - a^2) - 2 a y - \frac{y^2}{R} \right] d y.$$

Ez értékeket a 86/a képletbe helyettesítve:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{N}_p &= \int_0^{\delta_p} p_a \left[R(2 - a^2) x d x + 2 a x^2 d x - \frac{x^3}{R} d x \right] \\ &+ \int_0^{\delta_p} \frac{p_1 - p_a}{\sqrt{\delta_p}} \left[R(2 - a^2) x^{3/2} d x + 2 a x^{5/2} d x - \frac{x^{7/2}}{R} d x \right], \\ \mathfrak{N}_q &= \int_0^{\delta_q} q_a \left[R(2 - a^2) y d y - 2 a y^2 d y - \frac{y^3}{R} d y \right] \\ &+ \int_0^{\delta_q} \frac{q_1 - q_a}{\sqrt{\delta_q}} \left[R(2 - a^2) y^{3/2} d y - 2 a y^{5/2} d y - \frac{y^{7/2}}{R} d y \right]. \end{aligned} \right\} \quad (94).$$

Integrálás után, ha $\frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta} = c$ -vel jelöljük:

$$\mathfrak{M}_p = R^3 4 c^2 p_1 \left[(2 - a^2) 0,4 + 1,14 a c - 0,89 c^2 \right] \\ \times \left[1 + \frac{p_a (2 - a^2) 0,1 + 0,19 a c - 0,11 c^2}{p_1 (2 - a^2) 0,4 + 1,14 a c - 0,89 c^2} \right].$$

$$\mathfrak{M}_q = R^3 4 (1 - c^2) q_1 \left[(2 - a^2) 0,4 - 1,14 a (1 - c) - 0,89 (1 - c)^2 \right] \\ \times \left[1 + \frac{q_a (2 - a^2) 0,1 - 0,19 a (1 - c) - 0,11 (1 - c)^2}{q_1 (2 - a^2) 0,4 - 1,14 a (1 - c) - 0,89 (1 - c)^2} \right].$$

Minthogy a zárójelekbe foglalt értékek csak a β függvényei és mert számításaink szerint ezek β határértékein belül közel állandók, értékük pedig a következő:

$$\left. \begin{aligned} (2 - a^2) 0,4 + 1,14 a c - 0,89 c^2 &= 0,592 \\ (2 - a^2) 0,1 + 0,19 a c - 0,11 c^2 &= 0,176 \\ (2 - a^2) 0,4 - 1,14 a (1 - c) - 0,89 (1 - c)^2 &= 0,563 \\ (2 - a^2) 0,1 - 0,19 a (1 - c) - 0,11 (1 - c)^2 &= 0,167 \end{aligned} \right\}, \quad (94/a).$$

azért a nyomatékok képletei: $\mathfrak{M}_p = R^3 c^2 2,36 p_1 \left(1 + 0,297 \frac{p_a}{p_1} \right)$,

$$\mathfrak{M}_q = R^3 (1 - c)^2 2,26 q_1 \left(1 + 0,297 \frac{q_a}{q_1} \right),$$

és

$$\mathfrak{M}_B = R^3 c^2 2,36 p_1 \left(1 + 0,297 \frac{p_a}{p_1} \right) \left[1 + \frac{1}{tg^4 \beta} \cdot \frac{q_1}{p_1} \cdot 0,96 \frac{1 + 0,297 \frac{q_a}{q_1}}{1 + 0,297 \frac{p_a}{p_1}} \right]; \quad (94 b).$$

nem izotropszerű anyagok esetén pedig:

$$\mathfrak{M}_B = R^3 c^2 2,36 p_1 \left(1 + 0,297 \frac{p_a}{p_1} \right) \left[1 + \frac{1}{tg^4 \beta} \cdot \frac{q_1}{p_1} \cdot 0,96 \right] \quad (94 c).$$

E képletekben előforduló feszültségek viszonya az erők egyenlőségéből a következő:

$$P = \int_0^{2p} \left(p_a + \frac{p_1 - p_a}{\sqrt{\delta_p}} \sqrt{x} \right) \left[2R - \frac{x^2}{R} + \frac{2x\zeta}{R} - \frac{\zeta^2}{R} \right] dx \\ = \int_0^{2p} \left(p_a + \frac{p_1 - p_a}{\sqrt{\delta_p}} \sqrt{x} \right) \left[R(2 - a^2) - \frac{x^2}{R} + 2xa \right] dx,$$

$$Q = \int_0^{z_q} \left(q_a + \frac{q_1 - q_a}{\sqrt{\delta_q}} \sqrt{y} \right) \left[2R - \frac{y^2}{R} - \frac{2y\zeta}{R} - \frac{\zeta^2}{R} \right] dy$$

$$= \int_0^{z_q} \left(q_a + \frac{q_1 - q_a}{\sqrt{\delta_q}} \sqrt{y} \right) \left[R(2 - a^2) - \frac{y^2}{R} - 2ya \right] dy.$$

Integrálás után, ha az előbb alkalmazott helyettesítéseket elvégezzük:

$$P = R^2 c 2 p_1 \left[(2 - a^2) 0,66 + 1,6 a c - 1,14 c^2 \right] \left[1 + \frac{p_a (2 - a^2) 0,33 + 0,4 a c - 0,19 c^2}{p_1 (2 - a^2) 0,66 + 1,6 a c - 1,14 c^2} \right], \quad (95.)$$

$$Q = R^2 (1 - c) 2 q_1 \left[(2 - a^2) 0,66 - 1,6 a (1 - c) - 1,14 (1 - c)^2 \right] \left[1 + \frac{q_a (2 - a^2) 0,33 - 0,4 a (1 - c) - 0,19 (1 - c)^2}{q_1 (2 - a^2) 0,66 - 1,6 a (1 - c) - 1,14 (1 - c)^2} \right],$$

és mert a 95. egyenletekben szereplő alábbi kifejezések közepes értékei:

$$\left. \begin{aligned} (2 - a^2) 0,66 + 1,6 a c - 1,14 c^2 &= 1,062 \\ (2 - a^2) 0,33 + 0,4 a c - 0,19 c^2 &= 0,629 \\ (2 - a^2) 0,66 - 1,6 a (1 - c) - 1,14 (1 - c)^2 &= 1,021 \\ (2 - a^2) 0,33 - 0,4 a (1 - c) - 0,19 (1 - c)^2 &= 0,605 \end{aligned} \right\}, \quad (95./a.)$$

azért:

$$q_1 = p_1 \frac{c}{1 - c} 1,04 \frac{1 + 0,593 \frac{p_a}{p_1}}{1 + 0,593 \frac{q_a}{q_1}}. \quad (95/b.)$$

Nem izotropszerű anyagok esetén pedig:

$$q_1 = p_1 t g^2 \beta \cdot 1,04$$

A nem izotrop anyagokra vonatkozó q_1 értéket a 94 c-be helyettesítve:

vagy:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}_B &= R^3 \cdot \frac{t g^2 \beta}{1 + t g^2 \beta} \cdot 2,36 p_1 \left(1 + 0,297 \frac{p_a}{p_1} \right), \\ \mathfrak{M}_B &= \frac{\mathfrak{J}}{D/2} \cdot \frac{t g^2 \beta}{1 + t g^2 \beta} \cdot 3,00 p_1 \left(1 + 0,297 \frac{p_a}{p_1} \right). \end{aligned} \right\} \quad (95/c.)$$

104. Összetettebb keresztmetszet esetén eljárásunk egyszerűsítése céljából feltesszük, hogy az erőelosztás a 43.V. ábrán látott törvényt követi, vagyis a neutrális tengelyben p_f és q_f a feszültség és a feszültség növekedése a neutrális tengelytől mért távolsággal lineáris, vagyis:

$$p_x = p_f + \frac{p_1 - p_f}{\delta_p} x.$$

Ezzel az eljárással a neutrális tengely közelében a valódinál nagyobb feszültséget veszünk számításba, de mert ott az erő karja kicsi, az elkövetett hiba is csekély.

Ez esetben tehát a 86/a. képlet alakja:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}_p &= p_f \int_0^{\partial_p} x d(F) + \frac{p_1 - p_f}{\delta_p} \int_0^{\partial_p} x^2 d(F), \\ \mathfrak{M}_q &= q_f \int_0^{\partial_q} y d(F) + \frac{q_1 - q_f}{\delta_q} \int_0^{\partial_q} y^2 d(F). \end{aligned} \right\} \quad (96.)$$

E képletek első integráljai a keresztmetszetek megfelelő részeinek a neutrális tengelyre vonatkozó *statikai nyomatékát*, második integráljai pedig e keresztmetszetek *tehetetlenségi nyomatékát* jelentik.

Grafikai eljárással ez értékek bármily alakú keresztmetszetre vonatkozólag nehézség nélkül meghatározhatók, analitikailag azonban meghatározásuk sok nehézséggel jár, ezért ily esetekben indokoltabb a grafikai eljárás.

105. A belső és külső erők nyomatékait immár ki tudjuk számítani s mert a 84/b. képlet szerint:

$$\mathfrak{M}_K = \mathfrak{M}_B,$$

azért a nyert képletek segítségével a hajlítóerő értékét is kiszámíthatjuk.

A 84/a. képlet szerint a támasztóköz felében alkalmazott koncentrált Q_1 erő nyomatéka:

$$\mathfrak{M}_K = \frac{Q_1 L}{4} + H_1' h_1 = \frac{Q_1 L}{4} \left[1 + \frac{2}{L} \frac{tg \omega - tg \varphi_0}{1 + tg \omega \cdot tg \varphi_0} \left(s_1 - \delta \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta} \right) \right],$$

ha e képletbe a zárójel közé foglalt tagot K_1 -gyel jelöljük, vagyis, ha

$$K_1 = 1 + \frac{2}{L} \frac{tg \omega - tg \varphi_0}{1 + tg \omega \cdot tg \varphi_0} \left(s_1 - \delta \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta} \right), \quad (97.)$$

akkor:

$$\mathfrak{M}_K = \frac{Q_1 L}{4} K_1. \quad (84/c.)$$

A nyomaték kiszámításánál az összetartozó Q_1 és K_1 értékek veendőek figyelembe. Ezeket a 83/b.-vel kifejezett erő útjának képletével:

$$s_1 = \frac{L^2}{8 \rho_p} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_1} \right)^2 \right],$$

továbbá a 80/c. képlettel meghatározott görbületi sugárral:

$$\rho_p = \delta \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta} \frac{1 + \lambda_1}{\lambda_1},$$

a 83/a. képlettel kifejezett elhajlás szögének segítségével:

$$tg \omega = \frac{L}{2 \rho_p} \left(1 - \frac{p_a}{p_1} \right)$$

és $\varphi_0 \simeq 18^\circ$ -ra való felvételével számítjuk ki.

Az előbb tárgyalt egyszerűbb keresztmetszetekre vonatkozólag a külső erőt a következő módon fejezhetjük ki:

Lemezek esetén:

$$Q_1 = \frac{b_0 \delta^2}{L} p_1 1,6 \left(1 + 0,25 \frac{p_a}{p_1} \right) \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta} \frac{1}{K_1}.$$

A legnagyobb hajlító erő képlete tehát:

$$Q_e = \frac{b_0 \delta^2}{L} p_e 1,6 \left(1 + 0,25 \frac{p_a}{p_e} \right) \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta} \frac{1}{K_e}. \quad (98.)$$

Ha pedig közelítő értékekkel megelégszünk, a

$$Q_e = \frac{b_0 \delta^2}{L} \cdot 0,90 p_e \quad (98/a.)$$

képletet használhatjuk.

Négyszög keresztmetszetű rudak esetén:

$$Q_e = \frac{b_0 \delta^2}{L} p_e 4 A_1 \left[tg^2 \beta + \frac{B_1 C_1}{A_1 E_1} \right] \frac{tg^2 \beta}{(1 + tg^2 \beta)^2} \frac{1}{K_e}. \quad (99.)$$

Ha közelítő értékekkel megelégszünk:

$$Q_e = \frac{b_0 \delta^2}{L} \cdot 0,90 p_e. \quad (99/a.)$$

Kör keresztmetszetű rudak esetén:

$$Q_e = \frac{R^3}{L} 9,5 p_e \left(1 + 0,297 \frac{p_a}{p_1} \right) \cdot \frac{tg^2 \beta}{1 + tg^2 \beta} \frac{1}{K_e}. \quad (100.)$$

Ha közelítő értékekkel megelégszünk:

$$Q_e = R^2 \pi \cdot \frac{2R}{L} \cdot 0,90 p_e = \frac{R^3}{L} 5,65 p_e. \quad (100/a.)$$

E képletekből kitűnik, hogy a hajlítóerő változása nagyon hasonlít a húzóerő változásához. E változás törvényét a behajlás (s_1) függvényében felrajzolhatjuk, mert minden p_1 -hez tartozó λ_1 ismeretes s így az ezeknek megfelelő Q_1 és s_1 értékek kiszámíthatók. Hogy az ilykép megszerkesztett hajlítóerő-ábrát a kísérleti ábrával összehasonlíthassuk, ez utóbbiból a hajlított tárgynak és a gépi berendezésnek rugalmas megnyúlását ki kell küszöbölnünk. E célból a diagramm kezdő vonalát tekintjük rugalmassági vonalnak, miért is a rugalmas behajlást a 41. pont útmutatása szerint vonjuk le az össz-behajlásból, hogy a számításba vett s_1 értéket és a hozzátartozó Q_1 -et megkapjuk.

A 98. a, 99/a és 100/a. képletekből kitűnik továbbá, hogy egyazon anyagból készült különböző alakú próbatestek hajlító ellenállása, ha K_1 állandó, a méreteknél következő viszonyától függ:

$$\frac{b_0 \delta^2}{L} = \Delta \frac{\delta}{L} R^2 \pi \cdot \frac{2R}{L},$$

miért is fajlagos hajlítóerőnek (h) azt a hányadot tekintjük, amely adódik, ha a külső erőt a méretek jelzett viszonzyszámával elosztjuk, vagyis:

$$h_1 = \frac{Q_1}{\frac{\delta}{L} \Delta} \quad (101.)$$

Az ily értelemben vett fajlagos hajlítóerő maximális értéke:

$$h_e = 0.90 p_e. \quad (102.)$$

Ha tehát a fajlagos hajlítóerőt kisméretű próbatesttel végzett kísérletekkel meghatározzuk, a nagyméretű arányos testek hajlításához szükséges erő, föltéve, hogy mindkét esetben a $\frac{\delta}{L}$ viszony állandó, a 101. képlet alapján a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$Q_e = \Delta \frac{\delta}{L} \cdot h_e \quad (101/a.)$$

Annak kimutatása, hogy képleteink eredményei mennyire vágnak össze a kísérleti eredményekkel, a X. táblázatot közöljük.

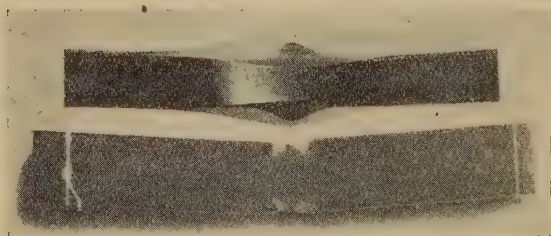
A X. táblázatból kitűnik, hogy a hajlított erő számított értékei a kísérletekkel jól egyeznek.

X. táblázat.

A próbatest alakja és a támasztó köz nagysága	Az anyag iktató száma	b_0	δ	p_a	p_e	λ_e	$tg^2 \beta$	Számított	Kísérleti
								Q_e	Q_e
Lemez $L = 100 \text{ mm}$	251	79,5	10,64	17,6	40	0,21	1,27	3042	3123
	252	79,2	10,42	22,6	42	0,20	1,31	3414	3297
	263	73,5	10,19	56,8	92,5	0,12	1,13	6686	6532
	264	73,45	10,18	21,8	51	0,19	1,23	3357	3519
Négyszög keresztm. rúd $L = 100 \text{ mm}$	251	10,45	17,94	17,6	40	0,21	1,27	1180	1235
	252	9,42	19,86	22,6	42	0,20	1,31	1491	1660
	263	12,05	16,06	56,8	92,5	0,12	1,13	2630	2440
	264	12,48	18,02	21,8	51	0,19	1,23	1953	1815
Kör keresztm. rúd $L = 50 \text{ mm}$			R						
	251	—	6	17,6	40	0,21	1,27	1025	1000 1100
	252	—	6	22,6	42	0,20	1,31	1118	1170 1240
	263	—	4,5	56,8	92,5	0,12	1,13	1006	1000
	264	—	6	21,8	51	0,19	1,23	1300	1360 1400

106. Lemezek hajlításakor a veszélyes keresztmetszetben a lemeznek szabad szélén levő $\varepsilon_{ctg\beta}$ hosszú darabja a képlékeny alakváltozás folyamata alatt a húzott oldal felé homorúvá válik, a nyomott oldalon ezért a veszélyes keresztmetszet a hajlítószerzámtól (A) elhajlik, amint ezt a 43. VI. ábra mutatja. A veszélyes keresztmetszet ez elhajlása arra vall, hogy a szélesség irányában is támadnak húzófeszültségek s mert ezek a hosszanti irányban levőkkel együtt a felső szintben a kohéziót legyőzhetik, ezért hajlításakor a lemez berepedhet.

Négyszögkeresztmetszetű rudak esetén a tengely irányára merőlegesen húzott vonalak, amelyek a szívós alakváltozás alatt egyenesek maradtak, azontúl már nem maradnak egyenesek, hanem kettős görbületet nyerne, t. i. a húzott oldal felé domborúkká, a nyomott felé pedig homorúkká válnak. A keresztmetszet oldalfelületei sem maradnak síkok, hanem elgörbülnek, sőt a δ magassági méret is csökken, még pedig a középvonalban a legerősebben, amint



44. ábra.

A felső kép a hasábalakú test képlékeny alakváltozását mutatja. Az alsó kép az ismételt hajtogatások alakváltozását szemlélteti.

ezt a 43. VII. ábra és a 44. ábra felső képe mutatja. A keresztmetszet változása következtében a hajlítóerő sem tarthatja meg maximális értékét mindvégig, hanem — ép úgy mint a húzásnál — csak kis ideig, ezután pedig csökken. A kontrakció folytán végbe-
menő egyenlőtlen anyagelosztás itt is, valamint a

húzásnál, többirányú húzófeszültségeket okoz, amelyek a kohéziót legyőzni törekшенek.

107. Abban az esetben, ha a többirányú feszültségek kisebb ritkítást okoznak annál, amekkorát a kohézió legyőzni képes, a próbadarab törés nélkül meghajlítható. Kérdés azonban, hogy a szabályos hajlítással mekkorára csökkenthetjük a nyomott réteg (ρ_q) görbületi sugarát. A szabályos hajlítás a 43. VIII. ábra szerint mindaddig tart, míg a veszélyes keresztmetszet a pontjából a vízszinteshez $\beta < \angle$ alatt húzott irányvonal a neutrális tengelyt metszi, de megszűnik, ha ezt érinti. Ez utóbbi esetben az $aoe\triangle$ -ből következik, hogy:

$$oe = oa \cdot \cos \beta$$

s mert

$$oe = \rho_q + \delta_q \text{ és } oa = \rho_q + \delta,$$

azért:

$$\rho_q (1 - \cos \beta) = \delta \cos \beta - \delta_q.$$

Ha ez utóbbi képletbe a δ_q ismert értékét, azaz a

$$\delta_q = \delta \frac{1}{1 + tg^2 \beta} \cdot t$$

helyettesítjük és az egyenletet rendezzük, ekkor:

$$\rho_q = \delta \cos \beta$$

s mert $\beta = 45^\circ \sim 53^\circ$ között ingadozik, azért:

$$\rho_q = (0,7 \sim 0,6) \delta. \quad (103.)$$

Ha a tárgyat ennél kisebb görbületi sugárra akarjuk összehajlítani, a 43. IX. ábra szerint az oldallapokra nyomást kell gyakorolni. Ekkor azonban azok a részek, melyek eddig méretcsökkenést szenvedtek, most méretnövelést nyernek.

γ_1) A hajlított test berepedésének feltétele.

108. A 106. pontban kifejtettük, hogy a próbatest veszélyes keresztmetszete a képlékeny alakváltozás következtében épen úgy kontrahál, mint húzásnál. Minthogy pedig az utóbbinál a kontrahált keresztmetszetben előálló teljes méretnövelés (λ_Σ) a 45/b. képlet szerint:

$$\lambda_\Sigma = (1 + \lambda_e)(1 + k) - 1$$

értékű, ennél fogva feltesszük, hogy a test a veszélyes keresztmetszetben ezt a nyúlást hajlításnál is eléri, még pedig a 80. képlet szerint akkor, ha görbületi sugara:

$$\rho_{p_t} = \delta_p \frac{1 + \lambda_\Sigma}{\lambda_\Sigma}.$$

E képlet segítségével már most meghatározhatjuk a szívósságnak és a képlékenységnak azt a fokát, amely szükséges, hogy a próbatest a $D_q = 2\delta$, $D_q = 3\delta$ és $D_q = 4\delta$ átmérőjű magra való hajlítást törés nélkül kibírassa. Feladatunk egyszerűsítése kedvéért rendezzük λ_Σ szerint az előbb felírt ρ_{p_t} képletet:

$$\lambda_\Sigma = \frac{\delta tg^2 \beta}{\rho_{p_t}(1 + tg^2 \beta) - \delta tg^2 \beta}, \quad (104.)$$

helyettesítsük ebbe a

$$\rho_{q_t} = \rho_{p_t} - \delta, \text{ valamint a } \rho_{q_t} = \frac{1}{2} D_q,$$

vagyis az $\frac{1}{2} D_q = \rho_{p_t} - \delta$ értéket.

Ekkor képletünk alakja ez lesz:

$$\lambda_\Sigma = \frac{\delta tg^2 \beta}{\rho_{q_t}(1 + tg^2 \beta) + \delta} = \frac{\delta tg^2 \beta}{\frac{1}{2} D_q (1 + tg^2 \beta) + \delta}. \quad (104/a.)$$

Törés tehát akkor következik be, ha

$$(1 + \lambda_e)(1 + k) - 1 \leq \frac{2\delta t g^2 \beta}{D_q(1 + t g^2 \beta) + \delta}. \quad (104/b)$$

E képlet szerint $D_q = 2\delta$ és $t g^2 \beta = 1 \sim 1,3$ értékek esetén egyensúly akkor áll be, ha

$$(1 + \lambda_e)(1 + k) - 1 = 0,33 \sim 0,39.$$

Feltéve, hogy az anyag egyenletes nyúlása: $\lambda_e = 0,20$, akkor a szükséges $k = 0,1 \sim 0,15$; ha pedig szívósságától az anyag meg van fosztva, vagyis ha $\lambda_e = 0$, akkor $k = 0,33 \sim 0,39$. Ha pedig $D_q = 3\delta$ és $\lambda_e = 0$, akkor $k = 0,25 \sim 0,29$, és ha $\lambda_e = 0,20$, akkor $k = 0,04 \sim 0,08$; végül, ha $D_q = 4\delta$, akkor $\lambda_e = 0$ esetén $k = 0,20 \sim 0,23$ és $\lambda_e = 0,20$ esetében $k = 0,03$ lehet.

E számadatokból kitűnik, hogy a $D_q = 2\delta$ átmérőjű mag körül az egyszerű meghajlítást még a csekély képlékenységgel bíró anyagból készült próbatestek is kibírják, feltéve, hogy külső rétegük hólyagmentes. Ha azonban a próbatestet váltakozó irányban többször hajlítjuk, az eltörik még akkor is, ha anyaga nagy mértékben képlékeny.

A 104/b. képlet helyességének ellenőrzése céljából különféle vasfajokból készült próbatesteket hajlítottunk, de mert a λ_Σ értéke mindezeknél nagyobb volt 0,42-nél, a $\rho_q = \delta$ határig való hajlítást mind kibírta.

Ezt követőleg a 497. sz. anyagot, amelynek jellemző értékei: $\lambda_e = 0,08$, $t g^2 \beta_e = 1,1$, $k = 0,45$ és $\lambda_\Sigma = 0,56$ kalapácsütésekkel hidegen 25° -kal kinyújtottuk, ezzel tehát a λ_Σ értéket $0,56 - 0,25 = 0,31$ -re csökkentettük. A hivatkozott képlet szerint az ilyen anyagból készült próbatest eltörik, ha $\rho_q = 14,5$ mm.-ré lesz, s a megejtett kísérletek alkalmával a próbatest $\rho_q = 15$ mm. elérésekor tényleg eltörtött, ezzel képletünk alkalmazhatósága beigazolást nyer.

109. Váltakozó irányú hajlítás következtében a próbatest a következő oknál fogva törik el: Meghajlításkor a neutrális réteg a 99. pontban kifejtettek szerint a húzott oldalról tekintve a szimmetria-tengely alatt fekszik, mert $\delta_p > \delta_q$. Váltakozó irányú hajlítás következtében tehát a neutrális tengely először a szimmetria-tengely alá, azután pedig e fölé jut s így a szimmetria-tengelyt oly anyag veszi körül, amely állandóan húzóhatás alatt áll. Hogy e réteg nagyságát jelezhessük, a veszélyes keresztmetszet szélső pontjaiból a 45. l. ábrán az a és a_1 -ből meghúzott irányvonalakat azok metszéspontjáig meghosszabbítjuk: a ce és c_1e_1 metszéspontokon áthaladó vonalak határolják azt a réteget, amely állandóan húzóhatás alatt áll. Ez a réteg képlékeny alakváltozáskor a b szélesség irányában méretcsökkenést szenved; b -nek méretcsökkenése pedig fokozatosan kiterjed a veszélyes keresztmetszet további részeire és a szomszédos keresztmetszetekre is, de csak a nyomóhatás irányvonalai határáig, t. i. $a c_1$, $a e_1$ és $a_1 c$, $a_1 e$ -ig, mert az e vonalaktól a szabad felszínig fekvő részek b irányában duzzadnak.

Többszörös váltakozó irányú hajlítás eredménye tehát az, hogy az $ac_1ca_1ee_1$ rész kontrahál, míg a felső lapoktól az ac_1 , a_1c , a_1e s ae_1 vonalakig terjedő részek duzzadnak. L. a 42. és 44. ábrák alsó képeit. A behorpadás és duzzadás határát a veszélyes keresztmetszetben az a és a_1 pontok alkotják. Ha az ezekben ható többirányú feszültségek a felső réteg szemcse közötti kohézióját (π_1 -t) is legyőzik, a próbatest külső szála (rétege) elszakad, vagyis a test bereped. A további hajtogatások alatt a repedés gyorsulva halad a szimmetriatengely felé, mert a repedés az elmozdulásokat épűgy gátolja, mint a bemetszés.

A váltakozó hajlításoknál érvényesülő jelenségeket ismerve, az igénybevételek számának meghatározására térünk át. Feladatunk egyszerűsítése kedvéért az első hajlítást addig folytatjuk, amíg a külső réteg megnyúlása a λ_e értéket elérte, a további hajtogatásokat pedig addig, hogy a legnagyobb hajlítóerő mindenkor az első hajlítás Q_e értékét érje el, vagy pedig addig, hogy a behajlás állandóan akkora legyen, mint aminő az első hajlítás s_e értéke volt. Ily viszonyok közt ugyanis az anyag a külső szálakban már az első ide-oda hajlítás alkalmával elveszti szívósságát s így a repedésig szükséges igénybevételek száma az anyag képlékenységeinek a függvénye.

Ámde a 73. pontban kifejtettek szerint képlékeny anyagok esetén az ismétlések száma (I_k) a képlékenységi fokszámának (k) exponenciális függvénye:

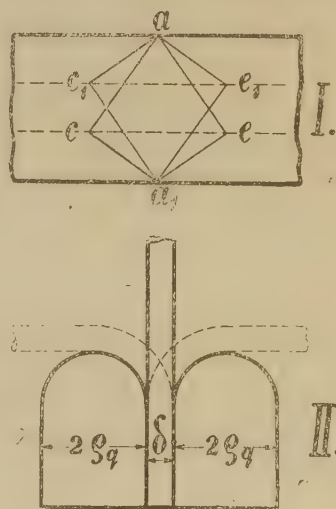
$$I_k = a^k.$$

E függvény alapszáma — különböző anyagokkal végzett kísérleteink adatai szerint — egyenlő az első hajlításnál érvényesült görbületi sugárnak és a tárgy eredeti vastagság-viszonyának négyzetével, vagyis $a = \left(\frac{\rho_{pe}}{\delta}\right)^2$

és ha ρ_{pe} értéket a 80/c. egyenlet szerint fejezzük ki: $a = \left(\frac{tg^2 \beta_e}{1 + tg^2 \beta_e} \cdot \frac{1 + \lambda_e}{\lambda_e}\right)^2$, ennél fogva:

$$I_k = \left(\frac{\rho_{pe}}{\delta}\right)^{2k} = \left(\frac{tg^2 \beta_e}{1 + tg^2 \beta_e} \cdot \frac{1 + \lambda_e}{\lambda_e}\right)^{2k}. \quad (105.)$$

Képletünk használhatóságának kimutatására a XI. táblázatot közöljük. Hangsúlyozzuk azonban, hogy a hajlítást csak ρ_e görbületi sugár eléréséig szabad fokoznunk.



45. ábra.

I. A húzott öv nagysága, váltakozó irányú hajlításnál.

II. Adott görbületi sugárig való hajlítás végrehajtásának módja.

XI. táblázat.

Az anyag jellemzői				Kísérleti értékek		Számított értékek
Ikt. sorszám	$tg^2 \beta_e$	λ_e	k	$\frac{\rho_e}{\delta}$	I	I
473	1,17	0,125	0,45	4,90	2	4
			0,81		3	13
476	1,36	0,21	1,07	3,32	24	13
			1,62		26	49
482	1,20	0,112	0,49	5,50	4	5
			0,81		4	16
487	1,27	0,21	1,69	3,34	41	5
			1,66		45	52
491	1,4	0,21	0,98	3,35	27	11
			1,34			26
585	1,30	0,16	1,35	4,10	52	45
			1,55		81	80
494	1,2	0,15	0,68	4,20	7	7
			0,80			10

A 105. képlettel tehát bármely anyag képlékenységi fokát meghatározhatjuk, mert ebből a k értéke így írható fel:

$$k = \frac{\log \cdot I_k}{\log \left(\frac{\rho_{pe}}{\delta} \right)^2}, \quad (105/a.)$$

vagy, ha a ebbe $\rho_{pe} = \rho_{qe} + \delta$ értéket helyettesítjük:

$$k = \frac{\log \cdot I_k}{\log \left(\frac{\rho_{qe}}{\delta} + 1 \right)^2}. \quad (105/b.)$$

A 105. képlet alkalmazásánál hangsúlyoztuk, hogy a hajlítást ρ_e értékén túl fokoznunk nem szabad, mert ekkor a kísérletet a számítással azonos alapon nem végezzük el. Ennek a követelménynek az esetben, ha $\lambda_q < 0,12$ -nél, nehéz eleget tenni, miért is az esetben, ha hajlítással akarjuk a k számértéket meghatározni, a próbatestet nem a maximális hajlítóerő beálltáig hajlítjuk, hanem meghatározott ρ_q sugárra legömbölyített harapószerszámmal való teljes érintkezéséig, amint azt a 45. II. ábra mutatja.

Képletünk alakja ekkor ilyen lesz:

$$I_k = \left(\frac{\rho_q}{\delta} + 1 \right)^{2k}, \quad 105/c.$$

ha pedig $\rho_q = 2,16\delta$, akkor:

$$I_k = 10^k, \text{ azaz } \log I = k \quad 105/d.$$

Ez a leggyorsabb és legkényelmesebb eljárás az anyagok képlékenységeinek meghatározására, eredményeit a XII. táblázatba foglaltuk.

XII. táblázat.

Az anyag jellemzői			A hajtogatások száma $\left(\frac{\rho q}{\delta} + 1\right)^2 = 10$ esetén I	$\log I = k$
Iktató szám	A húzókísérletből nyert			
	λ_e	k		
492	0,18	0,85 ~ 1,18	12 ~ 13	1,08 ~ 1,11
493	0,16	0,88 ~ 1,08	11 ~ 12	1,04 ~ 1,08
494	0,15	0,68 ~ 0,82	9 ~ 11	0,95 ~ 1,04
495	0,15	0,76 ~ 0,94	9 ~ 11	0,95 ~ 1,04
497	0,066	0,33 ~ 0,41	3	0,47

Hasonlítsuk már most össze a 104/b. és a 105/b. egyenletek eredményeit abban az esetben, ha

$$\frac{1}{2}D_q = \rho_q = \delta, \text{ és } \lambda_e = 0,2.$$

A 104/b. képlet szerint az egyszeri meghajlítás kibírásához szükséges, hogy $k = 0,11 \sim 0,15$ legyen; a 105/b képlet szerint pedig az így képlékenységi fokkal bíró anyagból készült próbatest elrepszteséhez szükséges *kettős hajtogatások* száma:

$$I_k = 1,01 \sim 1,02.$$

Eszerint az ilyen próbatest egy ide-oda való hajlítás után eltörik. A hivatkozott két képlet tehát azonos eredményt ad, még pedig azért, mert $\rho_p = 2\delta$ és $\rho_q = \delta$ esetén a külső réteg épen szívósságának határáig nyúlik meg, tehát eleget tesz a 105. képlet levezetésekor felvett feltételeknek.

110. Minthogy 105-ik képletünk levezetésekor feltételeztük, hogy az anyag már az első hajlításkor elvesztette szívósságát, így abban az esetben, ha $\rho_p < \rho_{pe}$, az ismétlések száma nemcsak a képlékenységeknek, hanem a szívósságnak is a függvénye. Ámde váltakozó hajlításkor a külső szálak felváltva majd húzó-, majd nyomóhatásnak vannak alávetve, ilyenkor pedig a 29. és 30. pontok szerint más szemcsék alakulnak a húzás és mások a nyomás következtében, miért is a szemcsehatárokon levő kapcsoló-csoportok feszültsége rohamosabban nő. Ez a körülmény okozza azt, hogy szívós alakváltozáskor az ismételt hajlítások száma kisebb, mint a 60/d. képlettel kiszámított ismételt húzások száma.

Kísérleti úton ugyanis megállapítottuk, hogy a szívós alakváltozást okozó hajlítások száma:

$$I_e = 1000 m_e \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^2,$$

ennélfogva, ha

$$\rho_p < \rho_{pe}, \text{ vagyis } \lambda_1 < \lambda_e,$$

akkor az egyszerű hajtogatások összes száma:

$$I_1 = I_e \cdot I_k = 1000 m_e \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_{p1}}{\delta} \right)^{2k}. \quad (106.)$$

E képletben p_1 a ρ_1 -nek megfelelő λ_1 -hez tartozó feszültséget jelenti.

Annak kimutatására, hogy a képletünkéből számított értékek a kísérletekkel mennyiben egyeznek, a XIII. táblázatot állítottuk össze.

XIII. táblázat.

A kilágyított anyag jellemzői					Kísérleti adatok				Számított értékek	
Iktató szám	p_e kg/mm ²	$m_e \cdot 1000$ kg/dm ³	$\operatorname{tg}^2 \beta$	k	λ_1	$\frac{p_1}{\text{kg/mm}^2}$	$\frac{p_e}{p_1}$	I	$\left(\frac{\rho_{p1}}{\delta} \right)$	I
491	41	7600	1,36	0,79 1,23	0,07	32	1,28	225	9,0	64 550
492	49	7700	1,31	0,81 1,14	0,05	37	1,32	88	11,7	96 620
493	56	8000	1,28	0,72 1,02	0,04	41	1,37	212	14,6	115 680
494	59	8100	1,25	0,57 0,98	0,065	47	1,25	32	9,0	22 135
496	83	8000	1,21	0,33 0,66	0,032	66	1,27	22	18,8	14 92

δ_1) Bemetszett rudak hajlítása.

111. Váltakozó irányú hajlítás következtében, amint jeleztük, a próbadarab azért törik el, mert a nyomóhatás folytán a keresztmetszetben az irányvonalak mentén *duzzadás*, ez irányvonalakkal közvetlen szomszédos részekben pedig a húzóhatásnak megfelelően *összehúzódás* megy végbe. Az anyagnak ez egyenlőtlen elosztása feszültségeket ébreszt s ezt a jelenséget gátlásnak neveztük. Ámde a 60. pontban kifejtettek szerint a többirányú feszültségeket a tárgy bemetszésével létesített gátlásokkal fokozhatjuk. E gátlások nagysága lassú erőhatás esetén, a 46. képlet szerint:

$$\frac{\pi_1 - p_1}{p_1} = \frac{\Delta_1 - \Delta_b}{\Delta_b} \cdot \frac{\varepsilon \sin(\psi - \beta)}{1 - \left(1 - 2 \operatorname{tg} \beta \frac{h}{d_b} \right)^2}.$$

Ha a bemetszést a 60. pont utasításai szerint visszük véghez, vagyis, ha a bemetszést merőleges falakkal látjuk el, $\psi = 90^\circ$, továbbá, ha

a rés (h) szélességét 0,5 mm.-re és $\frac{h}{d_0} = \frac{h}{\delta} = 0,1$ mm.-re vesszük, akkor a viszonyok ugyanolyanok lesznek, mint a húzásnál, miért is a második tört értéke is olyan, mint aminő a húzásnál volt. A képlet tehát így alakul:

$$\frac{\pi_1}{p_1} - 1 = \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_b} - 1 \right) \cdot 0,44.$$

Mint hogy hajlításhoz szívósságától megfosztott anyagot rendszerin nem használhatunk, azért a képletben szereplő p_1 voltaképen a folyáshatárral egyenlő, azaz $p_1 (=) p_f$.

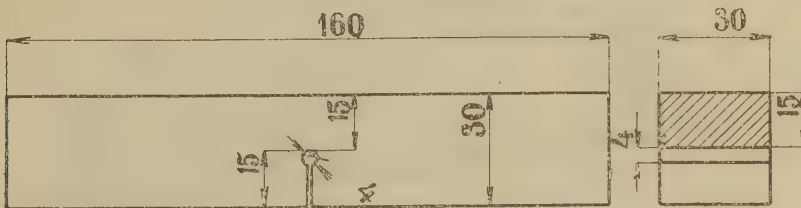


46. ábra. A kis próbatest szabványos mérete.

Húzás esetén, amikor $p_1 = p_e$ volt, a szükséges bemetszés mélysége: $\frac{d_e}{d_b} = 2$, most azonban, mert $p_f = (0,6 \sim 0,8) p_e$, a szükséges bemetszés:

$$\Delta_b = \frac{1}{2} (0,6 \sim 0,8) \Delta_0 = (0,3 \sim 0,4) \Delta_0.$$

Ilyen mély síma fenekű keskeny bemetszést azonban nem tudunk készíteni, hanem csak $\delta_b = \frac{1}{2} \delta$ -nak megfelelő mélységűt. Ez okból a bemetszett rudak, ha anyaguk szívós, nem törnek el a szívós alakváltozás-kor, hanem csak a képlékeny alakváltozás folyama alatt, amint ezt a 497. számú eredeti és hidegen kinyújtott anyaggal végzett kísérleteim igazolták.



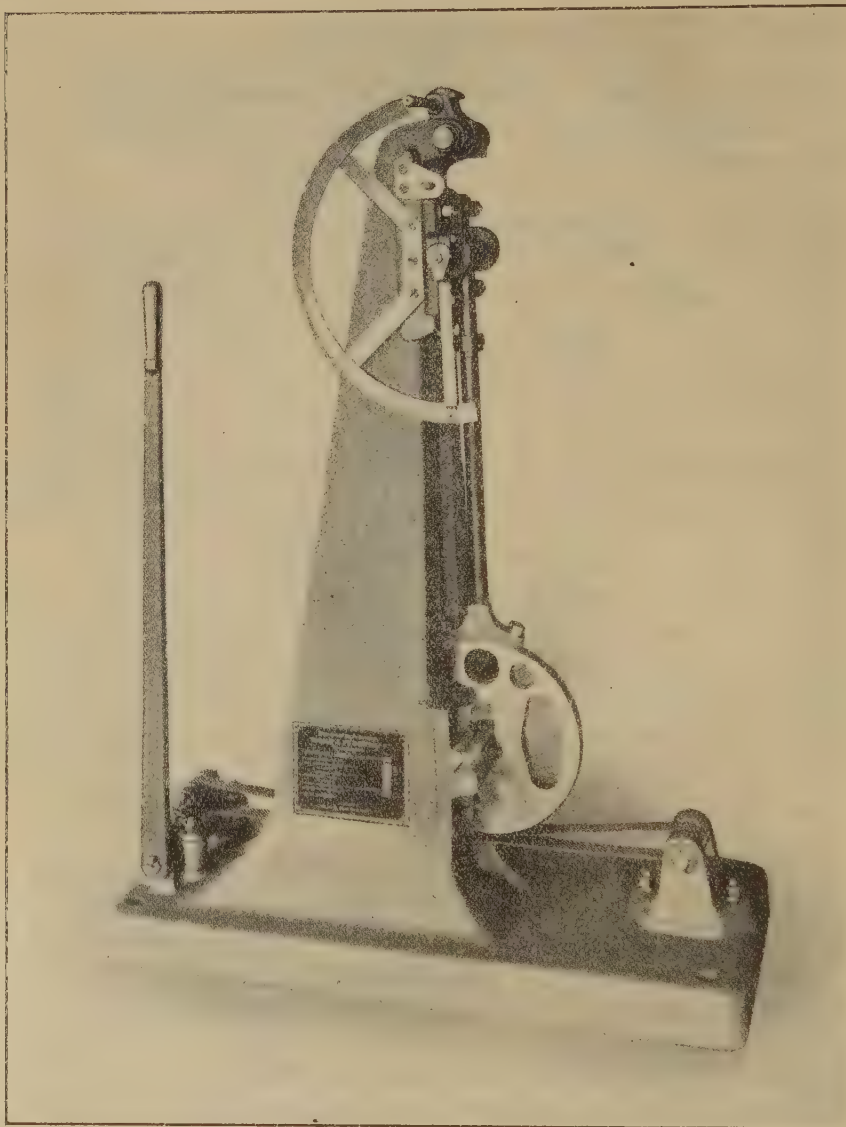
47. ábra. A nagy próbatest szabványos mérete.

ϵ_1) Bemetszett rudak hajlítása ütőhatással.

112. A bemetszés gátlását lényegesen fokozhatjuk, ha a hajlító erőt *lökésszerűen* működtetjük, mert ekkor az elmozdulásra rövidebb idő áll rendelkezésre. Ilyenkor λ_{Σ} értéke $\psi \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{\nu} \right)$ és a p_1 értéke $f(p_1 \nu)$ értékűvé válik.

Az ütőhatással eltörött bemetszett rudak kísérleti eredményeit, a francia anyagvizsgálók tanulmánya nyomán, az anyagvizsgálók nemzetközi szövetsége az anyagok dinamikai ellenállásának megítélésére használja. A kísér-

letek egységesítése kedvéért megállapították a kísérleti próbatestek méreteit, a leggyakrabban használt ütőművek rendszereit, nemkülönben a kísérleti eredmények felhasználásának módját is. Mindezeket BARTEL JÁNOS DR.

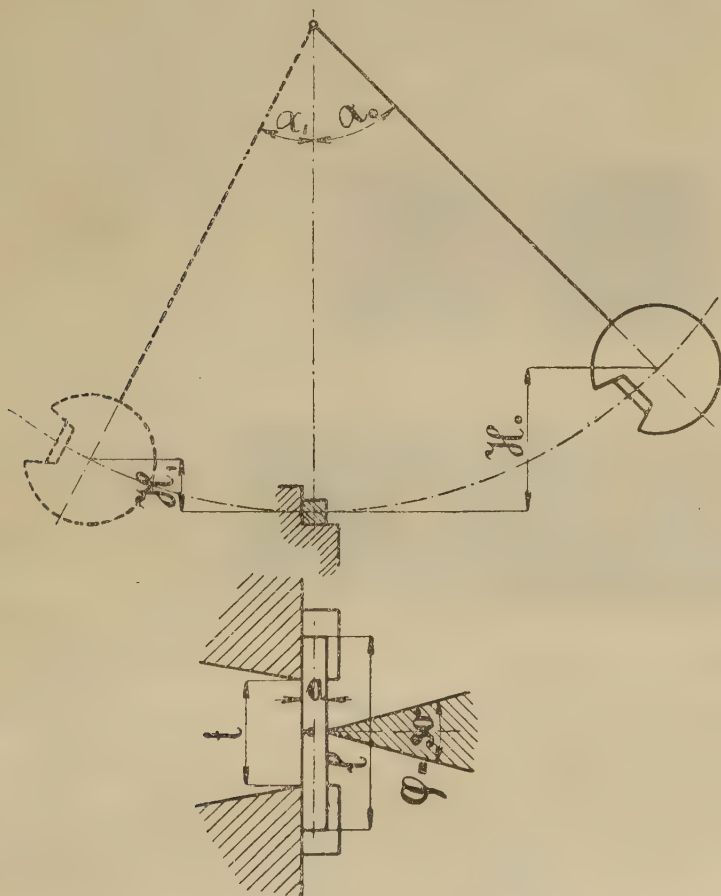


48. ábra. CHARPY-rendszerű 10 mkg-mos ütőmű.

az »Anyagvizsgálók Közlönye« 1915. évfolyamában kritikai alapon ismertette, miért is az alábbiakban tanulmányának kivonatát közöljük.

A próbatestek a 46. és 47. ábrákon jelzett méretekben készítettendők. Ez ábrákból kitűnik, hogy a próbatestek az arányosság törvényének meg-

felelnek s hogy az azonos irányú méretek viszonzszáma: 3. E viszonzszámnak megfelelően a támasztó köz (L) a nagy próbatestnél 120 mm-re, a kisméretnél pedig 40 mm-re veendő. A bemetszés fala a szövetség megállapodása szerint a hosszirányra merőlegesen készítendő, de hogy a bemetszés gyorsabban elvégezhető legyen, a veszélyes keresztmetszetben — szélétől $\frac{\delta}{2}$ távolságban — a nagy próbatestnél 4, a kisebbnél $\frac{1}{8}$ mm átmérőjű



49. ábra. A CHARPY-féle ütőmű működésének vázlata, oldalnézetben és alaprajzban.

furat készítendő, azután pedig a próbatest az ábrákon jelzett módon befűrészelendő. A lökőhatások kifejtésére a 48. ábrán látott CHARPY-rendszerű*) gépet használják, amelynél az ütést lengő mozgást végző tömeg fejt ki. A kisméretű próbatestekhez 10 m kg-ot, a nagyokhoz 250 m kg-ot kifejtő gépet használnak. A lengő tömegben ugyanis, ha azt az 49-ik ábrán

*) A CHARPY gépén kívül elterjedt a GUILLERY-rendszerű is, amely forgó mozgásban levő állandó súllyal fejt ki hatását.

jelzett módon H_0 magasságból ejtik le, $\frac{m v^2}{2} = G H_0$ eleven erő van felhalmozva s ha az ütközés után a tömeg H_1 magasságra emelkedik, a tárgy eltörésére felhasznált eleven erő:

$$M = G(H_0 - H_1). \quad (107.)$$

Ezt a munkamennyiséget azonban nem a próbatest hajlított részének köbtartalmára, $\delta_b b L$ -re, hanem annak veszélyes keresztmetszetére, $\delta_b b$ -re vonatkoztatják és az olykép nyert hányadot *fajlagos ütőmunkának*, *résilience*-nak — R_{1s} — nevezik. A szövetség e megállapodása tudományos szempontból hibás, mert az ily módon nyert hányada:

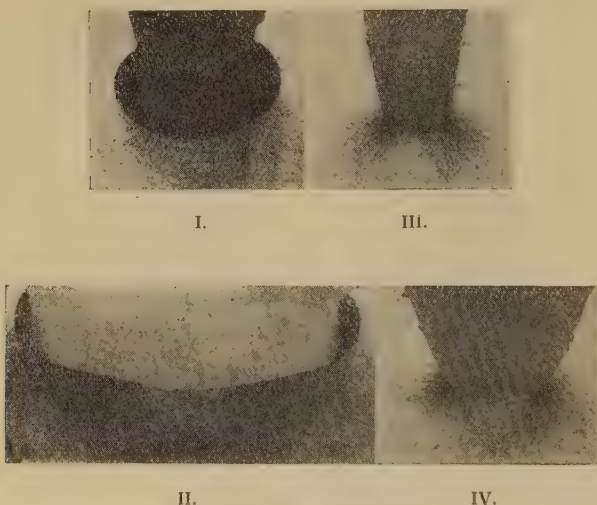
$$R_{1s} = \frac{G(H_0 - H_1)}{b \delta_b} \quad (108.)$$

nemcsak a feszültségtől, hanem a test egy dimenziójától is függ, holott ha a munkát a próbatest köbtartalmára vonatkoztatjuk:

$$R_s = \frac{G(H_0 - H_1)}{b \delta_s \cdot L} \quad (109.)$$

a test méreteitől már teljesen független.

A fajlagos munka helytelen kifejezése következtében a kétféle próba-



50. ábra.

A megnyúlt szál alakja az átmenetnek furattal való legömbölyítése és sarkos kiképzése esetén.

testekre vonatkozó, a 108. képlettel számított értékek — dacára, hogy a testek proporcionálisak, — még sem egyezők, hanem a viszonyszám (a) arányában állanak, ellenben BARTEL JÁNOS DR. kísérletei szerint a 109. képlettel számítottak teljesen azonosak, föltéve, hogy az alábbi követelményeknek is eleget teszünk.

Mint hogy ütközéskor a belső erők a sebességtől függően változnak, szükséges, hogy a kis és nagy gép ütő tömege azonos magasságból ejtessék; miből következik, hogy a nagy gép ütő tömege a^3 -szor nagyobb kell hogy legyen a kis gép tömegénél s mert a támadó szerszám a próbatestekbe bevágódik, az azonos bevágódás elérése céljából az is szükséges, hogy a nagyobb gépnél a szerszám éle a -szoros nagyobb sugárral gömbölyíttessék le, mint a kis gépen alkalmazott él; végre szükséges, hogy a támasztó szerszám tömege a nagy gépnél ugyanoly arányban növeltes-

sék, mint ütőtömege, különben a rugalmas alakváltozás munkája nem lesz arányos.

113. A próbatestek alakjára vonatkozólag megjegyezzük még, hogy a furat következtében a bemetszés helyén a 111. pontban kifejtett gát-lások csökkennek, ezzel a húzásra legjobban igénybe vett szál szabad h hosszúsága nagyobbodott, épen ezért a szívós alakváltozás folyama alatt ez a szál (l. az 50. I. és II. ábrát) nagyobb alakváltozást vehet fel, mint a 111. pontban említett egyenes falak sarkos átmenete alkalmazása esetén (l. az 50. III. és IV. ábrát), miért is a külső szál megnyúlását a sebesség kellő növelésével csökkenteni kell.

Hogy a bemetszett rudak ütőhatása alatt érvényesülő megnyúlást meghatározhassuk, a 46. ábrán látott szabályos bemetszésű próbadarabokat lassan ható erőkkel mindaddig hajlítottuk, míg a furatot érintő szál el nem szakadt. A szakadást a hajlító erő ábrájának megfigyelésével hatá-roztuk meg, mert a szélső szál beszakadásakor az erő hirtelen csökken. Ezután lemértük a meghajlított próbatestek hajlásszögeit s mert ezek tangense a $83/a$. és a $80/c$. képletek alapján így fejezhető ki:

$$tg\omega = \frac{L}{2\delta} \cdot \frac{1 + tg^2\beta}{tg^2\beta} \left(1 - \frac{p_a}{p_1}\right) \cdot \frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1}, \quad (110.)$$

ezért a kísérleti $tg\omega$ értéknek az anyag jellemzőitől való függését kerestük. Minthogy rendes hajlításnál a beszakadás a szélső húzott szálnak λ_2 -ra való megnyúlásakor áll be, ezért a bemetszett rudak meghajlításánál ennek csak valamelyes függvénye érvényesülhet, miért is a 110. képletbe $\frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1}$

helyett $f\left(\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2}\right)$ teendő. A 110. képlet azonban még egyszerűsíthető; mert egyrészt a méretek² viszonya állandó, másrészt mert a szélső szál feszültsége mindig eléri a p_e értéket, s így $\left(1 - \frac{p_a}{p_1}\right)$ helyett $\left(1 - \frac{p_a}{p_e}\right)$ írandó, de mert $\frac{1 + tg^2\beta}{tg^2\beta} \left(1 - \frac{p_a}{p_e}\right)$ csak kis határok között ingadozik, ezért ezt a szorzatot a méretek viszonyával együtt állandónak vehetjük. Ezzel a közelítő eljárással élve, a 110. képlet így alakul:

$$tg\omega = B \cdot f\left(\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2}\right). \quad (110/a.)$$

A függvény meghatározására derékszögű tengelyrendszerben ordinátaként a $tg\omega$ értéket, abszcisszaként a $\left(\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2}\right)$ -ét jelöltük, s mert az össze-tartozó értékek által meghatározott pontok folytonos görbével voltak összeköthetők, e görbe egyenletét meghatároztuk s úgy találtuk, hogy ez a következő:

$$tg\omega = 0,5 \left(\frac{\lambda_2}{1 + \lambda_2}\right)^3. \quad (110/b.)$$

E viszony azonnal változik, ha a furat átmérőjét változtatjuk. Ha például a furat átmérőjét 1,3 mm. helyett 1,8 mm.-re vesszük, akkor $tg\omega$ már kétszerese az előbbinek, azaz akkor:

$$tg\omega = \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3 \quad (110/c.)$$

A 110/b. képletünk használhatósága a XIV. táblázatból tűnik ki.

111. A bemetszés hatását ismerve, a sebesség befolyásának meghatározására térünk át. Kiinduló pontul válasszuk a hajlító erő munkáját.

Ha az eltört darab keresztmetszete $\delta_b \cdot b$, a lassú hajlításhoz szükséges munka értéke a következő képlettel fejezhető ki:

$$M = \eta Q_e \cdot s_e = \frac{b \delta_b^2}{L} \cdot \eta 0,9 p_e \cdot \frac{L^2}{8 \rho_p} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_e} \right)^2 \right]; \quad (107/$$

ha pedig s_e -nek 83/b. képlet szerinti értékét úgy helyettesítjük, hogy ebben ρ_s helyett $tg\omega$ szerepeljen, akkor:

$$M = b \delta_b L p_e tg\omega \left[\eta \frac{\delta_b}{L} \cdot \frac{0,9}{4} \left(1 + \frac{p_a}{p_e} \right) \right]$$

és ha a zárójelben foglalt szorzatot A_2 -vel jelöljük, akkor:

$$M = b \delta_b L p_e A_2 tg\omega \quad (107/b.)$$

E képletbe $tg\omega$ értékét a 110/b-ből helyettesítve és 0,5 A_2 helyett A_3 -t téve:

$$M = b \delta_b L p_e \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3 A_3 \quad (107/c.)$$

Ámde ütközéskor a $p_e (=) f(p_e, v)$ és a $\lambda_{\Sigma} (=) \psi \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{v} \right)$ értékűvé válik, miért is képletünk alakja:

$$M = b \delta_b L \cdot f(p_e, v) \cdot \psi \left[\frac{1}{v_1} \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3 \right] \cdot A_3 \quad (107/d.)$$

A sebesség befolyását pedig abból a jelenségből határoztuk meg, hogy ez első sorban a nyúlást változtatja meg. A test elemi részecskéinek elmozdulásához ugyanis bizonyos idő kívántatik, de mert a sebesség növekedésével csökken az erő hatásának ideje, ezért csökken a nyúlás is. Minthogy a 107/b. képlet értelmében azonos méretű próbatestek hajlításánál a munka csak a p_e és a $tg\omega$ -tól, a 107/c. képlet szerint pedig, csak a p_e és a $\left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3$ viszonytól függ, ezért a CHARPY-féle gépen nyert teljes munka értékeit (M) a keménységgel osztottuk és az $\frac{M}{p_e}$ értéket $tg\omega$ függvényében rajzoltuk fel. Az ily módon meghatározott pontok folytonos görbével

voltak összeköthetők, miért is a görbe képletét meghatározhattuk s azt találtuk, hogy ez a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$\frac{M}{p_e} = \frac{1}{2} t g \omega^2 = \frac{1}{2} \left[0,5 \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3 \right]^2 = 0,125 \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^6 \quad (111.)$$

Ez alapon a 107/d. képletben szereplő $f(p_e, \nu)$ helyett p_e veendő, a $\psi \left[\frac{1}{\nu}, \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3 \right]$ helyett $\left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^6$, $A_3 b \delta_b L$ helyett pedig 0,125, de mert $b \delta_b L = 10.5.40.0,001 = 2$, így $A_3 = 0,062$, miért is a munka képlete:

$$M^{mkg} = b^{mm} \delta_b^{mm} L^m p_e^{kg/mm^2} \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^6 \cdot 0,062. \quad (107/e.)$$

A 107/e. képletből következik, hogy a fajlagos ütőmunka, ha az ütősebesség és a bemetszés alakja állandó, a keménységnek, a λ_{Σ} -nak, vagyis az egyenletes megnyúlásnak és a képlékenységnek függvénye. A fajlagos munka azonban csak akkor adja meg az anyag dinamikai ellenállásának mértékét, ha a próbatest egy ütés alatt eltörik, mert különben a próbadarab surlódik a támasztókhoz s ez a külső munkát nagyon lefékezi.

XIV. táblázat.

Anyag száma	p_e kg/mm ²	λ_e	k	λ_{Σ}	$\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}}$	Számított értékek		Kísérleti értékek		Megjegyzés
						$t g \omega$	M	$t g \omega$	M	
497	110	0,05 0,07	0,45	0,52 0,56	0,344 0,36	0,02 0,023	0,0228 0,03	0,022	0,065 0,12	Eltört.
471	106	0,08	0,4	0,5	0,333	0,019	0,018	0,026	0,017	Eltört.
496	94	0,1	0,63	0,78	0,437	0,042	0,082	0,042	0,065 0,08	Eltört.
481	85,4 87,5	0,08 0,09	0,63 0,74	0,76 0,9	0,43 0,47	0,04 0,052	0,068 0,11	0,051	0,045 0,13	Eltört.
472	83 89	0,1 0,11	0,6 0,76	0,76 0,95	0,43 0,49	0,04 0,06	0,066 0,15	0,044	0,058	Eltört.
473	83,5 85,8	0,12 0,13	0,76 0,81	0,98 1,04	0,495 0,51	0,06 0,064	0,152 0,176	0,058	0,2	Eltört.
483	78,8	0,11	0,68 0,80	0,86 1,00	0,46 0,5	0,049 0,062	0,094 0,153	0,052	0,28 0,61	Eltört, de fékeződött.
482	75,0 77,3	0,11	0,68 0,81	0,86 1,00	0,46 0,5	0,049 0,062	0,09 0,15	0,052	0,35 0,42	Eltört, de fékeződött.
474	61	0,16	0,96	1,27	0,56	0,088	0,236	0,089	1,17	Fékeződött és el nem törött.
477	42,3 46,8	0,2 0,21	1,22 1,31	1,67 1,79	0,62 0,64	0,122 0,13	0,32 0,40	0,122	5,0	Fékeződött és el nem törött.

A 107/e. képletünk alkalmazhatóságát a XIV. táblázat igazolja. Ebből kitűnik, hogy a CHARPY-féle 10 m kg-os gépen, amelynél az ütközés pillanatában a szerszám sebessége 5 m, csak az olyan anyagból készült próbatestek törnek el, melyek $\lambda_{\Sigma} = (1 + \lambda_c)(1 + k)$ értéke kisebb az egységnél. *Ez okból a szerkesztő mérnöknek, ha ütéssel szemben ellenálló anyagot keres, oly anyagot kell választania, amelynél $\lambda_{\Sigma} > 1$, vagyis $k \equiv 1$.*

A táblázatból kitűnik továbbá, hogy a számított $tg\omega$ értékek a kísérletekkel minden anyagnál megegyeznek, a munka (M) értékek azonban csak akkor, ha $\lambda_{\Sigma} < 1$. Abban az esetben ugyanis, ha λ_{Σ} közel áll az egységhez, a próbatest nem törik el az ütés hatása alatt, hanem a támasztón tovább csúszik s ez a súrlódás fékezi az üttömeg sebességét, miért is a kísérleti munka számértéke lényegesen nagyobb, még pedig függetlenül attól, hogy a próbatest tovacsúszás alatt eltörött-e vagy sem. Ha $\lambda_{\Sigma} > 1$, akkor a próbatest már el nem törik s mert a tovacsúztatással járó súrlódás annál nagyobb, minél kevésbé repedt be, tehát minél nagyobbak az anyag λ_{Σ} és p_e értékei, azért a kísérleti s a számított munka számértékeinek viszonya sem lesz állandó.

Ha az anyag jellemzésére a hajlított rész köbtartalom-egységére számított munkát vesszük, úgy e *fajlagos üttömmunkának* (R_s) értéke:

$$R_s = \frac{M}{b \delta_b L} = \frac{G(H_0 - H_1)}{b \delta_b L} = 0,062 p_e \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^6 \quad (107/f.)$$

E képletből továbbá az is következik, hogy a fajlagos üttöm munka számértéke akkor változatlan, ha

$$R_s = R'_s = \frac{M}{b \delta_b L} = \frac{M'}{b' \delta_b' L'},$$

vagyis, ha

$$\frac{G(H_0 - H_1)}{b \delta_b L} = \frac{G'(H'_0 - H'_1)}{b' \delta_b' L'},$$

azaz, ha

$$f(p_e v) \cdot \psi \left[\frac{1}{v}, \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3 \right] = f(p_e v') \cdot \psi \left[\frac{1}{v'}, \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^3 \right].$$

Legegyszerűbb feltételekhez jutunk, ha $v = v'$, vagyis, ha az *ütközés sebességét állandósítjuk*. Ez úgy érhető el, ha:

$$H_0 = H'_0;$$

de az is szükséges, hogy:

$$\frac{\delta_b}{\delta} = \frac{\delta_b'}{\delta'}.$$

legyen, vagyis hogy a test méreteit, a bemetszés mélységét és a furat átmérőjét a *proporcionális testek* törvényének megfelelően készítsük el. A bemetszés egyéb viszonyait, t. i. a rés falának meredekségét azonban változtatnunk nem szabad, hogy a gátlás hatása meg ne változzék.

Ily viszonyok között:

$$\frac{b \delta_b L}{b' \delta_b' L'} = \frac{G (H_0 - H_1)}{G' (H_0' - H_1')}, \quad (109/a.$$

ez egyenlőség pedig akkor áll fenn, ha: $a^3 G = G'$.

De ha a fajlagos ütőmunkát az anyagvizsgálók nemzetközi szövetsége megállapodása szerint vesszük, vagyis, ha a teljes ütőmunkát a próbatest keresztmetszetére vonatkoztatjuk, a fajlagos ütőmunkák viszonyai a 108. képlet szerint $\frac{L'}{L} = a$ viszonyban állanak egymáshoz, amint azt DR. BARTEL JÁNOS kísérletei is mutatták.

ζ₁) Forgásban levő tengelyek váltakozó irányú hajlítása.

115. Forgási testek váltakozó irányú hajlítása akkor is bekövetkezik, ha azokat egyirányú terhelés alatt forgásban tartjuk. Ekkor a testek (pl. a tengelyek) minden körülforgás alatt egyszer ide-oda hajlítottatnak, a forgások száma tehát a kettős hajtogatások számát adja meg. Minthogy a tengelyek, ha nem forognak, nagyobb terhek alatt maradandóan elgörbülnek, holott forgásban ugyanilyen terhek következtében maradandóan nem görbülnek el, azaz tehermentesített állapotukban megint egyenesek (feltéve, hogy a tehermentesítést forgás közben végeztük), ezért meg kellett állapítanunk, vajjon a forgásban lévő tengelyek a teher alatt ugyanolyan mértékben hajlanak-e be, mint nyugalmi helyzetükben? Kísérleteink arról győzték meg, hogy az s_1 behajlások mindkét esetben teljesen egyenlők, miért is a rugalmas és a maradandó alakváltozásra levezetett hajlítási képletek a forgásban lévő tengelyekre is alkalmazhatók. Ezt tudva, a hajlítás képletei segítségével kiszámíthatjuk adott Q és L esetén az s_1 , ρ_p értékeket, ez utóbbiból pedig meghatározzuk a λ_1 -t, ezzel a p_1 -t, tehát közvetve a $\left(\frac{\rho_r}{p_1}\right)$ viszonyt is megállapítjuk. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy ha a külső szálaban a feszültség nagyobb az anyag folyáshatáránál, azaz ha $p_1 > p_f$, a forgásban lévő tengelyek igen erősen felmelegsznek, sőt izzóvá is válhatnak. Legkritikusabb állapot az, mikor a tengely hőfoka a 300°-ot eléri, mert ekkor a vasszén-ötvözetek csak szívósak. Magasabb hőfoknál csökken a keménység, nő tehát a $\frac{\rho_r}{p_1}$ viszony értéke, de az anyag képlékenysége szintén nő.

Kísérleteinknél a terhelést úgy választottuk, hogy a külső szál legnagyobb húzófeszültsége lehetőleg a folyás határán alul maradjon. Mint-hogy eddig a határig az erő a nyúlással lineáris viszonyban van, a feszültség számításához a rugalmasság képletét kell használnunk.

A külső szál feszültségének képlete tehát:

$$p_1 = \frac{2M}{I} \cdot \frac{d}{2};$$

a külső szálra vonatkozó görbületi sugár képlete pedig:

$$\rho_{p_1} = \frac{EI}{2M} + \frac{d}{2}.$$

E képletekben E a rugalmasság modulusát, I a keresztmetszet tehetlenségi nyomatékát és $2M$ a külső erő nyomatékát jelzi. Kísérleteinknél $2M = \frac{QL}{4}$, $I = 0,049 \text{ d}^4 \text{ kg cm}^2$, $d = 2,5 \text{ cm}$ és $L = 73,4 \text{ cm}$, $E = 2,200.000$.

Az ilykép nyert számértékek azonban a tényleges feszültséget csak akkor adják meg, ha a forgásban lévő tengely terhelése állandó. Változó terhelés esetén ugyanis a tengelyek rezgésbe jönnek s ilyenkor, ha a rezgések periódusai a forgásszámokkal harmónikusak, a behajlások lényegesen nagyobbak a számított értékeknél, sőt folyton nőnek, ennél fogva a szélső szál igénybevétele fokozódik s ez a tengely élettartamát rohamosan csökkenti.

Ámbár kísérleteinknél, amint már jeleztük, a terhelést úgy választottuk meg, hogy p_1 kisebb legyen p_f -nél, próbatengelyeink anyaga a váltakozó húzó- és nyomó-igénybevételek következtében — a 29., 30., és 74. pontokban kifejtettek szerint — mégis kimerült. A kimerülés kezdetben a veszélyes keresztmetszet kerületén lévő szemcse határainak horpadásában, majd az azok mentén keletkező hajszálrepedésekben nyilvánult. (L. a 27. III. ábrát.)

A forgásban lévő tengelyek igénybevétele azonban nem teljesen azonos a 109. pontban tárgyalt testek igénybevételével, ezeknél ugyanis a húzó- s nyomóhatások átmenete folytonos, ezért az anyag kimerülése gyorsabban áll be, még pedig annál gyorsabban, minél nagyobb a percnkénti fordulatszám. Abban az esetben, ha a tengely percnként 400 fordulatot tesz, a törést okozó fordulatszámok képlete a következő:

$$n_t = \frac{1}{2} \sqrt[1,82]{(1000 m_c) \left(\frac{p_c}{p_1} - 1 \right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_{p_1}}{\delta} \right)^{2k}}, \quad (112.)$$

vagy:
$$\log 2 n_t = 0,55 \left[\left(\frac{p_c}{p_1} - 1 \right)^2 \log 1000 m_c + 2k \log \frac{\rho_{p_1}}{\delta} \right]. \quad (112 a.)$$

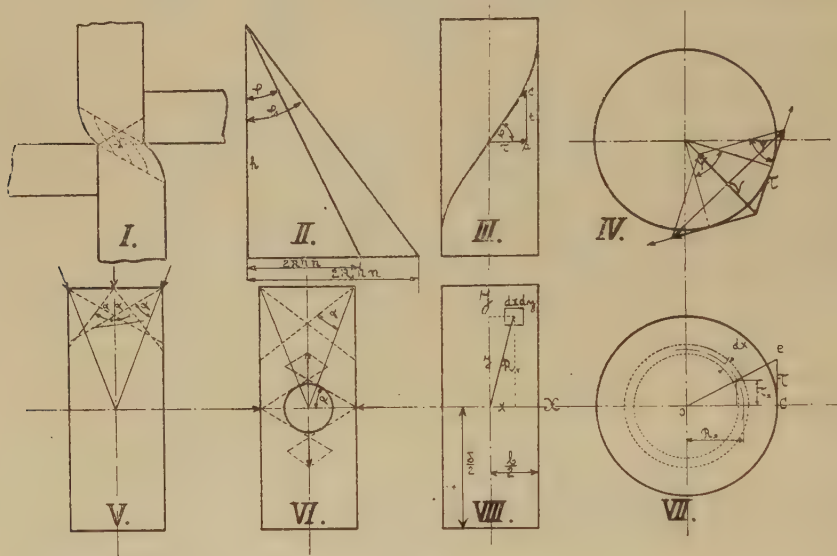
Annak igazolására, hogy állandó terhelés esetén a tengelyek törését okozó fordulatszámok az e képlettel számított értékekkel jól megegyeznek, a XV. táblázatot közöljük, amelyben a kísérleti és a számított eredményeket foglaltuk össze.

XV. táblázat.

Az anyag száma és mechanikai tulajdonságai	Súlyok száma	Q kg	p_1 kg/mm ²	$\left(\frac{p_e}{p_1} - 1\right)^2$	$\frac{\rho p_1}{\delta}$	$\log 2 n_t$		Megjegyzés
						Számított érték	Kísérleti érték	
322. sz. folytvas. $p_e = 54,7 \sim 61$ $1000 m_e = 5100 \sim 6750$ $k = 1,11 \sim 1,36$	5	223,7	26,7	1,08 ~ 1,64	824	5,75 ~ 7,80	6,17 ~ 7,70	A terhelés helyén beragódtak.
	4	183,7	22	2,22 ~ 3,14	1000	8,19 ~ 11,1	8,1 ~ *	
324. A. sz. acél. $p_e = 62,2 \sim 64$ $1000 m_e = 8500 \sim 10260$ $k = 0,91 \sim 0,99$	7	303,7	36,2	0,518 ~ 0,59	607	3,90 ~ 4,34	4,83 ~ 4,90	Igen erősen melegek. Melegek.
	6	263,7	31,45	0,96 ~ 1,08	700	4,91 ~ 5,48	5,49 ~ 5,66	
	5	223,7	26,7	1,77 ~ 1,96	824	6,53 ~ 7,50	7,76 ~ 9,37	
324. B. sz. $p_e = 59,3 \sim 62,6$ $1000 m_e = 8190 \sim 11230$ $k = 0,99 \sim 1,04$	7	303,7	36,2	0,41 ~ 0,532	607	3,91 ~ 4,36	4,67 ~ 4,79	Igen erősen melegek. Melegek.
	6	263,7	31,45	0,784 ~ 0,96	700	4,78 ~ 5,40	5,5 ~ 5,84	
	5	223,7	26,7	1,49 ~ 1,81	824	6,37 ~ 7,59	6,39 ~ 6,96	
325. A. sz. acél. $p_e = 89,2 \sim 91,3$ $1000 m_e = 8610 \sim 10050$ $k = 0,44 \sim 0,50$	9	383,7	45,8	0,894 ~ 0,98	480	3,22 ~ 3,60	4,52 ~ 4,62	Igen erősen melegek. Melegek.
	8	343,7	41	1,35 ~ 1,512	536	4,23 ~ 4,83	5,02 ~ 5,16	
	7	303,7	36,2	2,13 ~ 2,31	607	5,95 ~ 6,60	5,41 ~ 5,80	
325. B. sz. acél. $p_e = 79,9 \sim 81,4$ $1000 m_e = 6940 \sim 7360$ $k = 0,52 \sim 0,57$	9	383,7	45,8	0,562 ~ 0,61	480	2,715 ~ 2,97	3,97 ~	Igen erősen melegek (fűtési szint kapott). „ Melegek.
	8	343,7	41	0,90 ~ 0,96	536	3,47 ~ 3,74	4,37 ~ 4,41	
	7	303,7	36,2	1,464 ~ 1,565	607	4,68 ~ 5,07	4,71 ~ 4,91	
326. A. sz. folytvas. $p_e = 45,9 \sim 46,6$ $1000 m_e = 9930 \sim 10160$ $k = 1,00 \sim 1,24$	6	263,7	31,45	2,37 ~ 2,53	700	6,63 ~ 7,15	5,35 ~ 5,40	Igen erősen melegek.
	5	223,7	26,7	3,96 ~ 4,2	824	10,02 ~ 10,74	5,90 ~ 8,06	
	4	183,7	22	1,18 ~ 1,23	1000	5,89 ~ 6,80	6,28 ~ 7,54	
326. B. sz. folytvas. $p_e = 44,4 \sim 44,6$ $1000 m_e = 8650 \sim 8775$ $k = 1,31 \sim 1,32$	6	263,7	31,45	0,168 ~ 0,177	700	4,464 ~ 4,513	4,06 ~ 4,94	Igen erősen melegek. Melegek.
	5	223,7	26,7	0,436 ~ 0,449	824	4,35 ~ 5,175	5,5 ~ 5,53	
	4	183,7	22	1,04 ~ 1,062	1000	6,53 ~ 6,66	6,12 ~ 8,09	

 *) Hasonló terhelés mellett egy másik tengely 5 év óta forog és eddig megtett fordulataiból számított $\log 2 n_t = 9,42$.

116. Szerkezeteinkhez gyakran kénytelenek vagyunk olyan tengelyeket használni, amelyek változó vastagságúak. Ilyenkor a hirteleni keresztmetszetváltozás helyett valamilyen r sugarú körívnek megfelelő átmenetet készítünk. Az ilyen tengelyek azonban bemetszett tengelyeknek tekinthetők. A bemetszésre vonatkozólag a 60. és a 111. pontokban azt találtuk, hogy ez csak akkor nem káros, ha az átmeneti helyen a falak hajlásszöge: $\psi < \beta$, tehát szerkezeteinknél ennek a követelménynek eleget kell tennünk, különben a repedés a legerősebb keresztmetszet szomszédságából fog kiindulni.



51. ábra.

A csavarásnál érvényesülő irányvonalak és feszültségek.

A fenti feltételeknek eleget teszünk, ha az r sugarú átmeneti körből olyan darabot tartunk meg, amelynek érintői β szöget zárnak be. A felhasználható körszelvény középponti szöge tehát β . Az átmenet sugara a húzásnál a 39. pontban kifejtett okból a kisebb keresztmetszet átmérőjének legalább 0,15-ára veendő, úgy hogy $r = 0,15 d$.

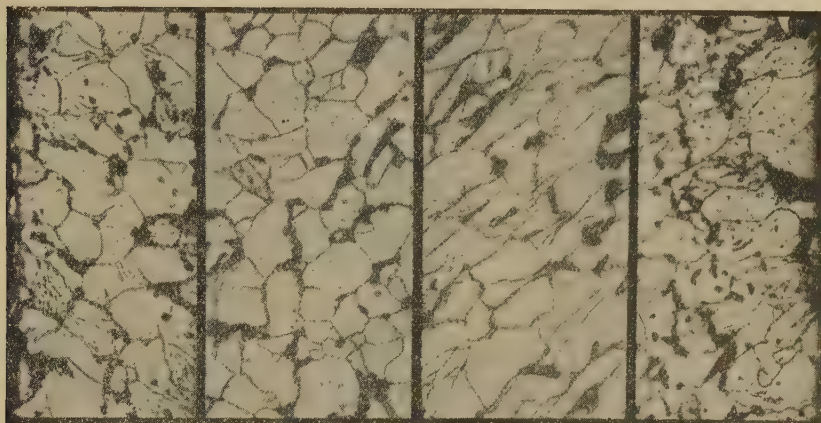
ε) A csavarás.

α₁) Az alakváltozás jelenségei.

117. A csavarás legszembetűnőbb jelensége, hogy az elcsavart próbatest alkotói csavarvonal-alakúak. Ily alakú vonalat lemezekből összerakott testen úgy állíthatunk elő, hogy a lemezeket viszonylagosan elfordítjuk, éppen ezért a csavarás lényegének a keresztmetszetek elcsúsztatását tartjuk. Minthogy a szilárd testek keresztmetszetei kohéziós kap-

csolatban állanak, azok elcsúsztatását csakis nyíró hatással hajthatjuk végre. Ez alapon a csavarást oly nyírásnak tekintjük, amelynek szerszáma a tárgy tengelye körül forog. A szerszám e különleges mozgása következtében a tengelyben nyírás nem is mehet végbe, ennélfogva ott a nyíró-feszültség zérus, ellenben a keresztmetszetnek a tengelytől legtávolabb fekvő részében a feszültség a legnagyobb értéket éri el.

Ezzel a csavarásnál érvényesülő nyírófeszültségek eloszlására vonatkozólag már kellő útmutatást nyertünk. Vizsgáljuk meg most már, hogy a nyírással járó egyéb jelenségek mikép módosulnak a szerszámnak e különleges mozgása folytán.



II.

I.

IV.

III. $\times 200$

52. ábra.

Kör-keresztmetszetű rúd szemcséinek alakváltozása csavaráskor.

I. A tengelyben fekvő szemcsék keresztmetszete. II. A palásthoz közel fekvő szemcsék keresztmetszete. III. A palásthoz közel fekvő szemcsék hosszanti metszete. IV. A palástot alkotó szemcsék képe, az érintő síkban.

Nyírásnál, amint a 90. pontban kifejtettük és az 51. I. ábrán is bemutatjuk, az elcsúsztatott keresztmetszetekre normálisan álló szálak elhajlanak; ez okból a csavarásnál a keresztmetszetekre normális szálak — vagyis az alkotók — szintén elhajlani kénytelenek, de mert a külső erő iránya folyton változik, az alkotók elhajlásának iránya szintén megváltozik. Az irányváltozásnak azután az az eredménye, hogy azok a szálak, amelyek eredetileg a tengellyel párhuzamosak voltak, tengelytávolságukkal egyenlő sugárral bíró hengerköpenyre illeszkedve alkotják a spirális vonalat.

Ámde a spirális vonalak hosszúsága nagyobb a szál eredeti h hosszúságánál, ennélfogva ennek meghosszabbodása függvényében nő a szálban lévő feszültség is. A szálak meghosszabbodását szemléltethetővé tehetjük a spirális vonalnak síkon való kifejtésével, amint ezt az 51. II. ábra mutatja.

Ez ábrából kitűnik, hogy a fajlagos megnyúlás, ha az eredeti hosszúságot h -val, a körülcsavarások számát n -nel jelöljük, a

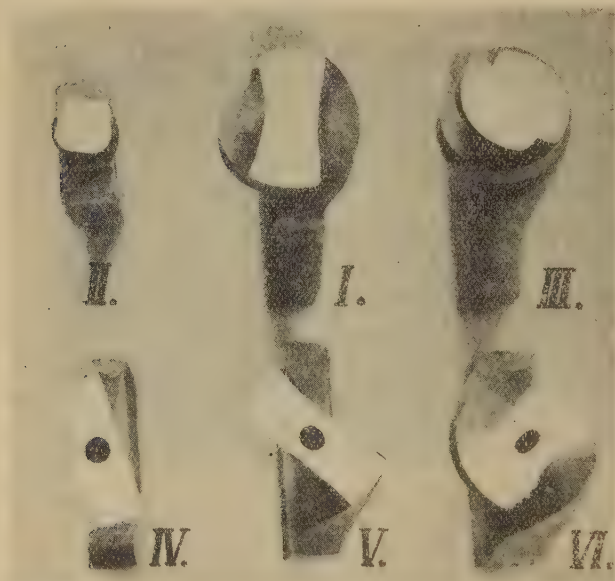
$$\operatorname{tg} \varphi = 2 R \pi \frac{n}{h} \quad (113.)$$

kifejezéssel meghatározott φ szög növekedésével szintén nő. Ez alapon tehát kimondhatjuk, hogy a spirális vonalban levő feszültség a tengelytől mért távolsággal, R -rel, ép úgy arányos, mint az előbb említett nyíró-feszültség.

118. A nyírás tárgyalásakor arra az eredményre jutottunk, hogy

a berepedés a húzott szálabban indul meg, ami annak a jele, hogy ezekben a feszültség lényegesen nagyobb, mint a nyírás síkjában levő részekben, miért is a csavarásnál a spirális vonalban lévő húzó-feszültséget primér hatásból eredőnek tekinthetjük, a többi irányokban levőket pedig csak e primér hatás komponenseinek.

A spirális vonalban a szemcsék megnyúlásai az érintő irányában mennek végbe, ennél fogva az 52. IV. ábra szerint a húzó-



53. ábra.

A keresztmetszet alakváltozása csavarásnál.

feszültség iránya is azzal esik össze, vagyis minden pontban más és más. Ez irányváltozás következtében a spirális vonal feszültsége a derékszögű koordináta-rendszernek mind a három tengelye irányában fejti ki hatását.

Hogy e hatások minőségére és nagyságára következtethessünk, tekintsük a p húzófeszültséget vektormennyiségnek s bontsuk fel azt az 51. III. ábrán látott módon t tengelyirányú és τ érintőirányú komponensekre. Az ábra szerint:

$$t = p \cdot \sin \varphi \quad (114.)$$

és

$$\tau = p \cdot \cos \varphi. \quad (114/a.)$$

De mert a τ iránya folyton változó, nagysága azonban állandó s mert p az egész szálabban egyforma, ennél fogva az 51. IV. ábra szerint az

irányváltozás a ν sugárirányú nyomóhatásokat okozza, amelyek nagysága a következő képlettel fejezhető ki:

$$\frac{\nu}{2} = \tau \cdot \sin \frac{\psi}{2}, \quad (114/b.)$$

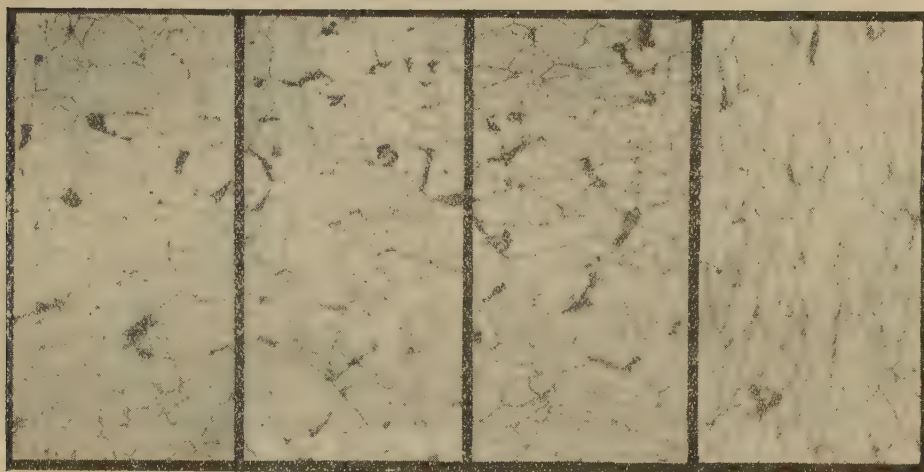
ebből:

$$\nu = 2 \tau \cdot \sin \frac{\psi}{2} = 2 p \cdot \cos \varphi \cdot \cos \frac{\psi}{2}.$$

A φ és ψ között pedig az összefüggés a következő:

$$\psi = 2 \pi \frac{n}{h} \quad \text{és} \quad \operatorname{tg} \varphi = 2 R \pi \frac{n}{h}.$$

A komponensek nagyságát ismerve, térjünk át azok hatásaira.



I.A.

I.B.

II.

III.

× 200

54. ábra.

A négyszög keresztmetszetű rúd szemcséinek szívós alakváltozása csavarásnál.

I.A. Az igénybe nem vett anyag szemcséinek keresztmetszete. I.B. A csavart-test tengelyében fekvő szemcséknek keresztmetszete. II. A négyszög kisebb tengelye végén fekvő szemcséknek keresztmetszete. III. A négyszög kisebb tengelye végén fekvő szemcséknek hosszanti metszete.

119. A tengelyirányú t komponens a külső szálakban nagyobb lévén mint a belsőkben, ez utóbbiaknak zsugorodását okozza, a sugárirányú erők pedig azok hosszabbodását végzik, föltéve, hogy az anyag nem tömöríthető.

Az ily anyagokból készült hengeres próbatestek méretei a szívósság határán belül majdnem változatlanok, t. i. a hosszúságuk (h) igen kis mértékben nő, de e növekedés az 1%-ot alig éri el, holott képlékeny alakváltozáskor a megnyúlás már 2–3%-ot tesz ki.

Téglány-keresztmetszetű próbatestek a szívósság határán belül rövidülnek, még pedig annál erősebben, minél nagyobb a téglány hosszabbik $\bar{e}$

oldala a rövidebb b -hez képest. E jelenség tanulmányozása céljából végzett kísérleteink alapján a hosszúság zsugorodásának százalékát, ε -t, a következő képlettel fejezhetjük ki:

$$\varepsilon_{h,0} = A \left(\frac{n}{h_{dm}} \right)^2,$$

az A tényező változását pedig a következővel:

$$A = 0,04 \left(\frac{\delta}{b} - 1 \right).$$

A köbtartalom állandóságának elvéből kifolyólag a próbatest hosszának zsugorodása következtében a keresztmetszet mindkét méretének, t. i. a δ -nak és a b -nek, *növekednie* kellene, de mert a tengelytől távolabb fekvő keskeny oldalra ható sugárirányú erők nagyobbak, mint a szélesebb oldalra hatók, a nagyobb sugárirányú erők a δ méret csökkenését hozzák létre; a t és a ν ellentétes hatása folytán a δ irányban a méret nem nőhet, a növelés tehát csak a b irányban állhat be. Mindaddig, amíg $\frac{\delta}{b} < 2$, a δ mérete változatlan, de amint $\frac{\delta}{b} > 2$, a sugárirányú erők következtében ez is csökken. Kísérleti adataink szerint a fajlagos méretcsökkenés a következő képlettel fejezhető ki:

$$\varepsilon_{\delta,0} = 0,8 \left(\frac{\delta}{b} - 2 \right)^2 \left(\frac{n}{h_{dm}} \right)^2.$$

A köbtartalom állandóságából már most következik, hogy

$$h \delta b = h (1 - \varepsilon_h) \delta (1 - \varepsilon_\delta) \cdot b (1 + \lambda_b),$$

ebből pedig, hogy

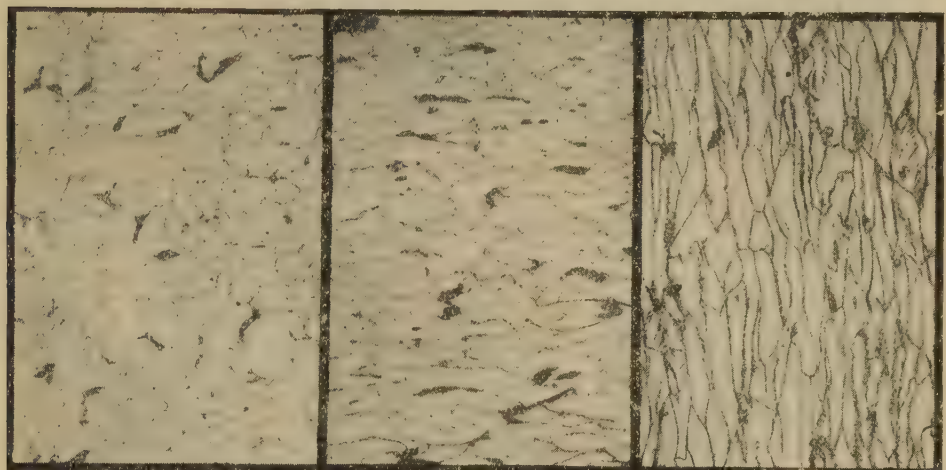
$$1 + \lambda_b = \frac{1}{(1 - \varepsilon_h)(1 - \varepsilon_\delta)}.$$

120. Az előző pontban kimutattuk, hogy csavarás folytán a téglány b szélessége nő; növekedése azonban nem egyenletes, hanem, amint az 53. I., V., VI. ábrákból is kitűnik, a tengelytől távolabb fekvő részekben hatályosabb. Ez a jelenség kétségtelen bizonyítéka annak, hogy a keskenyebb oldalra ható sugárirányú erők nagyobbak és hogy ezek az anyag elmozdítását az irányukkal α szöget képező irányvonalban hajtják végre. (L. az 51. V. ábrát.)

Hogy következtetéseink helyességéről meggyőződjunk, elcsavarás előtt kifűrtük a négyszög-keresztmetszetű próbatestet, a csavarás után pedig megvizsgáltuk a furat alakváltozását. A furat — amint ezt az 53. ábra IV., V. s VI. képei mutatják — a nagyobb tengely irányában hosszabbodott meg, ámbár δ mérete csökkent. E jelenség okát azonnal felismerjük, ha az 51. VI. ábrán az elmozdulások irányvonalait figyelembe vesszük.

A keskeny oldalra ható sugárirányú feszültségek α szög alatt hajló irányvonalai ugyanis a furat oldalfalát nem érintik, holott a kis tengely szomszédságában hatóknak irányvonalai ennek falát a nagy tengely felé terelik, miért is ez meghosszabbodni kénytelen.

121. Az eddigiek szerint a sugárirányú erők a tengelytől mért távolsággal arányosan nőnek. Ezt igazolják a szemcsék alakváltozásai is, amelyeket az 54. és 55. ábracsoportok láttatnak. Az 54. ábra II. és III. képei a kisebb tengely végpontjában lévő szemcsék kereszt- és hosszanti metszetét, az 55. ábra II. és III. képei pedig a nagy tengely végpontjában



I.

II.

III.

× 200

55. ábra.

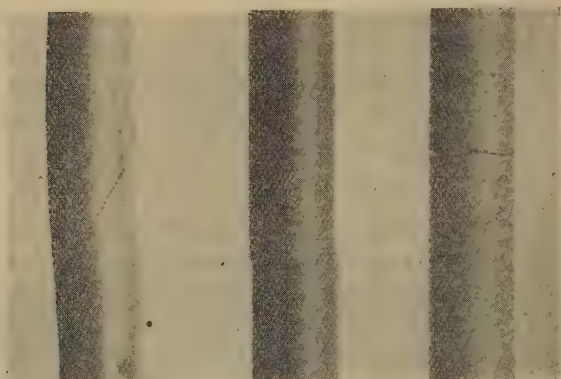
A négyszög-keresztmetszetű rúd szemcséinek képlékeny alakváltozása.

I. A csavart-test tengelyében fekvő szemcsék keresztmetszete. II. A négyszög hosszabb tengelye végén fekvő szemcséknek keresztmetszete. III. A négyszög hosszabb tengelye végén fekvő szemcséknek hosszanti metszete.

fekvő szemcsék hasonló metszeteit mutatják. E képekből szembetűnő, hogy a hosszabb tengely végpontjában fekvő szemcsék alakváltozása lényegesen nagyobb a rövidebb tengely végpontjában fekvőénél s mert szívós anyagok nagyobb méretű alakváltozásához nagyobb feszültség is kell, e mikroszkópi képekkel igazolást nyert ama következtetésünk, hogy *a nagyobb tengely végpontjában nagyobb a feszültség.*

Mindkét ábracsoportban az I. számú képek a tengelyben fekvő szemcsék keresztmetszeteit mutatják, az 54. I. A. kép pedig az anyag szemcséinek csavarás előtti állapotát szemlélteti. E képek összehasonlításából kitűnik, hogy csavarás következtében a tengelyben fekvő szemcsék alakja nem változik meg, amiből következik, hogy a rájuk ható nyíró-feszültség tényleg zérus értékű.

A feszültségek eloszlása az 52. ábracsoport szerint a körkeresztmetszetű testnél épen olyan, mint a négyszögűnél. Ebben az ábracsoportban az I. kép a tengelyben



I. II. III.

56. ábra.

A kör-keresztmetszetű csavart-testek berepedéseinek irányai.

I. sárgaréz, II. és III. vas-szénötvözet.

sugárirányú erők hatásának. Körkeresztmetszetű tárgyon, ha annak anyaga nem tömöríthető, a sugárirányú feszültségek csak a tengely megrövidülését korlátozzák, de ha a test anyaga tömöríthető, akkor elsősorban tömörítik azt. A sugárirányú erők tömörítő hatásának köszönhető, hogy a nedves ruhákból facsarás következtében a víz kiszorul és hogy a szálak termények megsodrás folytán annyira surlódnak, hogy összefüggő fonallá válnak.

122. Ezek után vegyük még figyelembe a törésfelületeket. Az 56. I., II. s III. ábrák szerint a törés végbemehet a csavarvonal mentén, vagy pedig a keresztmetszet síkjában. Ugyanezt igazolják az 57. s 58. ábrák is. Az 57. ábra ugyanis a csavarvonal mentén való törést, az 58. ábra pedig a keresztmetszet síkjában végbement lenyíródást mutatja. E kétféle törésen kívül azonban az 59. ábra szerint a keskeny oldal kontrahálásából eredő berepedés is lehetséges.

Kör-keresztmetszetű tárgyakon a

lévő szemcsék keresztmetszetét, a II. kép pedig a kerületen fekvőkét ugyanilyen metszetben, a III. pedig ez utóbbi szemcséket hosszanti metszetben tűnteti fel. Az I. és II. számú képeknek összehasonlításából kitűnik, hogy az alakváltozás a tengelytől mért távolsággal nő; a II. és III. számúakból pedig következik, hogy a szemcsék tangenciális és tengelyirányú méretnövelést szenvedtek, ennél fogva alakváltozásuk megfelel a

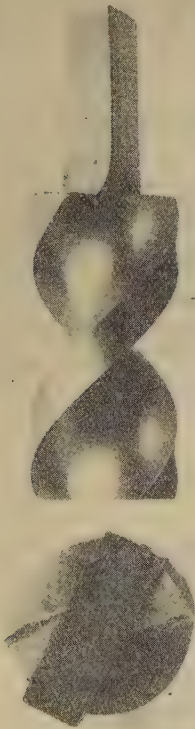


57. ábra.

A kör-keresztmetszetű csavart-test repedésének iránya, ha anyaga salakos.

törés leggyakrabban a keresztmetszet síkjában megy végbe. Ha az ilyen eltörött tárgyat közelebből megvizsgáljuk, észrevesszük, hogy palást-felülete nagyon egyenlőtlen és hogy az eltört keresztmetszet kerületén több beszakadás nyoma van. E jelenségből arra következtethetünk, hogy az egyenlőtlenségek a csavarvonal irányában fekvő szálak kontrahálásából erednek és hogy az ily módon keletkezett egyenlőtlen anyagelosztás — gátlás — okozza a beszakadást. De mielőtt valamely keresztmetszetben néhány szál beszakadt, e keresztmetszet bemetszettnek tekinthető, miért is az elnyírás ebben folytatódik.

Következtetéseink helyességének ellenőrzése céljából egyazon anyagból több próbatestet készítettünk s ezekkel a következő kísérleteket végeztük: Az első próbatestet törésig csavartuk s eközben megfigyeltük a palást fokozódó egyenlőtlenségét; a másodikat csak addig csavartuk, míg felülete csaknem olyan egyenlőtlené vált, mint az elsőé. A



58. ábra.

A téglány-keresztmetszetű próbatest törésének alakja, ha azt fejrész nélkül fogjuk be.



59. ábra.

A fejrészrel ellátott téglány-keresztmetszetű próbatest törésének alakja.

A csavarást most félbenhagytuk, az egyenlőtlenségeket lecsiszoltuk s a próbadarabot ezután tovább csavartuk. Az eredmény az volt, hogy az első darab öt körülcsavarás után tört el, a másik azonban hét csavarásnál is többet bírt ki.

Megvizsgáltuk továbbá a hengeres test csavarvonala mentén végbement repedéseket is és arról győződünk meg, hogy ezek csak salakos és oxidos fészkek helyén jönnek létre, mert a rideg salak és az oxidrétegek a csavarás folytán végbemenő elhajlításokat nem bírják ki.

Négyszögkeresztmetszetű próbatesteken az 58. ábrán látott elnyírás akkor áll be, ha

a befogott rész ugyanolyan széles, mint a csavarásnak alávetett rész. Ekkor ugyanis, amint az ábrából tisztán látható, a szerszám lenyírja a próbatestet. Ez a jelenség arra enged következtetni, hogy a csavaró erő τ komponense épen olyan módon hat, mint a nyíró erő. A lenyírás jelensége azonban be nem következik, ha a befogott rész, t. i. a fejrész, szélesebb a csavart test törzsénél. Ilyenkor az 59. ábra szerint a téglány keskeny oldalán levő külső szálak a legerősebben húzott részek, amiért is ezek kontrahálnak és a beszakadás is ezek mentén megy végbe.

$\beta_1)$ A nyomaték számítása.

123. A csavarásnál figyelembe vett három komponens közül a külső erővel közvetlenül a τ tart egyensúlyt. Ez a komponens a 115. pontban kifejtettek szerint érintőirányú és a keresztmetszet síkjában fekszik s így nyíró-feszültségnek tekinthető, amely a nyírásnál kifejtettek szerint a rendes nyomó-feszültséggel a következő viszonyban áll:

$$\tau = \frac{\sigma}{2} \cdot \sin 2\alpha. \quad (114/c.)$$

Hogy a τ feszültség nyomatékát kiszámíthassuk, ismernünk kell azt is, hogy ez milyen függvénye a tengelytől mért távolságnak (R_x). Az 54. s 55. ábrákból látható, hogy az alakváltozás nagyobb fokban nő, mint a kérdéses szemcsének a forgás tengelyétől mért távolsága. Ez alapon feltesszük, hogy a méretnövelés a tengelytávolsággal másodfokú viszonyban áll és mert a méretnövelésnek a feszültséggel való viszonya szintén másodfokú, következik, hogy a feszültség a tengelytávolsággal lineáris összefüggésben van. Ezt a viszonyt az 51. VII. ábrán az *oce* háromszög jelzi. Ebből a tengelytől R_x távolságban lévő τ_x értéke:

$$\tau_x = \tau \frac{R_x}{R}. \quad (114/d.)$$

A feszültség eloszlását ismerve, a nyomaték kiszámításához foghatunk. Számításainkat azonban csak a technológiában leggyrabban használt keresztmetszetekre, t. i. a körre és a négyyszögre vonatkozólag fogjuk elvégezni.

Kör-keresztmetszetről a $d x$ vastagságú $s R_x$ sugarú gyűrű minden pontjában a feszültség ugyanaz, t. i. τ_x , ennél fogva a nyomatékot az 51. VII. ábrában látott jelzések alkalmazásával s annak figyelembevételével, hogy a próbatest mérete csavaráskor változatlan, a következőképen írhatjuk:

$$2\pi = \int_0^R 2\pi R_x dR_x \tau_x R_x = \frac{2\pi\tau}{R} \int_0^R dR_x R_x^2 = \frac{\pi}{2} R^3 \tau;$$

τ értékét a 114/c. képletből az egyenletbe behelyettesítve:

$$2\mathfrak{N} = R^3 \cdot 1,57 \cdot q \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2}. \quad (115.)$$

Négyszög-keresztmetszetenél a nyomaték az 51. VIII. ábra szerint a következő:

$$2\mathfrak{N} = 4 \int_0^{\frac{b}{2}} \int_0^{\frac{\delta}{2}} dx \cdot dy \tau_x R_x;$$

ha e képletbe a τ_x értékét a 114/d. egyenletből behelyettesítjük s figyelembe vesszük, hogy

$$R_x = \sqrt{x^2 + y^2} \text{ és } R = \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2},$$

és feltéve, hogy a próbatest méretei változatlanok, a nyomatékot így fejezhetjük ki:

$$2\mathfrak{N} = 4 \int_0^{\frac{b}{2}} \int_0^{\frac{\delta}{2}} dx \cdot dy \cdot \frac{\tau}{R} \cdot (x^2 + y^2).$$

Ámde a 119. pont szerint a test összes méretei $\left(\frac{n}{h_{dm}}\right)$ -től függően megváltoznak, ennek következtében a szemcsék orientálódnak, a feszültség tehát nő. Minthogy valamennyi tényezőnek változása az $\frac{n}{h_{dm}}$ értékének függvénye, ezért feladatunk egyszerűsítése kedvéért a nyomaték számításakor a méreteket állandóknak fogjuk tekinteni s az összes változókat a feszültség változásával fogjuk kifejezésre juttatni. Ily alapon az előbb felírt képletet alkalmazhatjuk. Ez kellően rendezve így írható:

$$2\mathfrak{N} = \frac{4\tau}{R} \int_0^{\frac{b}{2}} dx \int_0^{\frac{\delta}{2}} dy (x^2 + y^2).$$

Az integrálás elvégzése után a képlet alakja:

$$2\mathfrak{N} = b \delta^2 \sqrt{1 + \left(\frac{b}{\delta}\right)^2} \cdot 0,166 \tau,$$

ha pedig τ értékét a 114/c. egyenletből helyettesítjük:

$$2\mathfrak{N} = b \delta^2 \sqrt{1 + \left(\frac{b}{\delta}\right)^2} \cdot 0,166 q \frac{\sin 2\alpha}{2}. \quad (115/a.)$$

A nyomaték képleteiben szereplő feszültség számértékét a λ megnyúlásból határozzuk meg, e fajlagos megnyúlást pedig a τ irányú λ_{cs}

méretváltozásból, mert a külső erőnek közvetlenül csak a τ komponens áll ellen. Az 51. II. ábra szerint a h hosszúságú próbatestnek τ irányába eső méretnövelése $2R\pi n$, ennél fogva a hosszegységgel egyenlő hosszúságú rúd méretnövelése $2R\pi \frac{n}{h}$; ezt a csavarás fajlagos méretnövelésének nevezzük. Képlete tehát:

$$\lambda_{cs} = 2R\pi \frac{n}{h}.$$

Az $\frac{n}{h}$ viszonyt fajlagos elcsavarásnak, vagy *sodrás-számnak* mondjuk. E viszonyban a h -t dm.-ben számítjuk, azaz a hosszegységet 100 mm.-re vesszük.

Annak meghatározása végett, hogy a λ_{cs} folytán előállott méretváltozások és az egyidejűleg végbemenő szemcse-orientálódások együttvéve a nyomatékra mily hatással vannak, a következőképen jártunk el: A derékszögű tengelyrendszer kezdőpontjától jobbra a q nyomófeszültség ábráját rajzoltuk fel a λ függvényében, balra pedig a csavaró-kísérletek nyomatéki ábrájából a 113. s 114. képletek segítségével kiszámított egyenértékű nyomófeszültségeket, t. i. a körre vonatkozólag a

$$q = \frac{2\mathfrak{N}_k}{1,57 R^3 \frac{\sin 2\alpha}{2}} = \frac{2\mathfrak{N}_k}{A}, \quad (116.)$$

négyszögre pedig a

$$q = \frac{2\mathfrak{N}_k}{b\delta^3 \sqrt{1 + \left(\frac{b}{\delta}\right)^2} \cdot 0,166 \frac{\sin 2\alpha}{2}} = \frac{2\mathfrak{N}_k}{A} \quad (116. a.)$$

értéket a λ_{cs} függvényében.

Ezután meghatároztuk, hogy valamely választott q -nek milyen λ és milyen λ_{cs} érték felel meg; ez utóbbi számadatok alapján új ábrákat szerkesztettünk, amelyek a $\lambda = f\left(2R\pi \frac{n}{h}\right)$ összefüggést jelezték. Ez ábrákból kitűnt, hogy a négyszögkeresztmetszetű próbatestek adataiból szerkesztett görbék paramétere annál nagyobb, minél kisebb az oldalméretek $\left(\frac{b}{\delta}\right)$ viszonya; de ha a $2R\pi \frac{n}{h}$ abszcisszáék értékeit $\frac{b}{\delta}$ -val szoroztuk, a négyszögekre vonatkozólag azonos alakú görbe-csoportot kaptunk. E görbecsoportot azután egy közepes értékű görbével helyettesítettük. Ez eljárást többféle fémmel végeztük és akkor kitűnt, hogy különböző anyagok

helyettesítő görbéi megegyezők. Az ilyen eljárással megállapított képlet alakja a négyszögre:

$$\lambda = 227,5 \left(b_{dm} \cdot \frac{n}{h_{dm}} \right)^{2,5}. \quad (117.)$$

A körkeresztmetszetű próbatestek helyettesítő görbéire pedig azt találtuk, hogy egyenletük az előbbtől abban tér el, hogy állandó tagja és hatványkitevője kisebb, ami azt jelenti, hogy körnél az orientálódás lassabban megy végbe, mint a négyszögnél. A körre alkalmazandó képlet tehát a következő:

$$\lambda = 118,2 \left(R_{dm} \cdot \frac{n}{h_{dm}} \right)^2. \quad (118.)$$

A 117. és 118. képletekkel kiszámított λ értékek az orientálódás fokát jelzik és pedig úgy, amint az a rendes nyomásnál végbemegy. Ez okból a λ értéknek megfelelő q feszültséget a feszültségi ábrából már lemérhetjük, vagy pedig, ha nem a feszültségi ábra, hanem az anyag jellemző adatai állanak rendelkezésünkre, a q értékét a 32. képlettel számíthatjuk ki:

$$q = q_a + \frac{q_{max} - q_a}{\lambda_{max}} \sqrt{2\lambda\lambda_{max} - \lambda^2}.$$

A q ismerete alapján bármely keresztmetszetű rúd csavarásához szükséges nyomatékot megkapjuk, ha azt a 116. képlettel kifejezett A -val, t. i. a méret-tényezővel szorozzuk:

$$2N = Aq.$$

A nyomatékok 115., 115/a. és az ezekhez tartozó megnyúlások 117. s 118. képleteinek alkalmazhatóságát a XVI. táblázat igazolja.

Megjegyezzük, hogy képleteink csak a teljes szívóosság határáig, azaz q_{max} - és λ_{max} -ig érvényesek, továbbra azonban nem.

71) A berepedés feltétele.

124. A berepedés, amint az 58. s 59. ábrákból kitűnik, a befogás módjától függ; fejrészek alkalmazása esetén azonban függ a fej- és a törzsrész közötti átmenet görbületi sugarától is. Éles átmenet, vagy éles harapó szerszámokkal való befogás esetén a berepedés már a teljes szívóosság legyőzése után beáll, miért is a berepedést okozó n_b elcsavarás számát a 117. képlettel kiszámíthatjuk, ha λ helyébe λ_{max} -ot tesszünk. A képlet alakja négyszög keresztmetszetre ekkor ez:

$$\lambda_{max} = 227,5 \left(b_{dm} \cdot \frac{n_b}{h_{dm}} \right)^{2,5}. \quad (119.)$$

Kísérleteink szerint abban az esetben, ha az átmenet görbületi sugara:

$$\rho \geq 0,15d = 0,15\delta, \quad (120.)$$

XVI. táblázat.

Az anyag jellemző adatai		486. sz. folytvas: $q_f = 33 \text{ kg/mm}^2$, $q_a = 26,5 \text{ kg/mm}^2$, $q_s = 61,7 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_s q = 0,20$, $q_{\max} = 81 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_{\max} = 1,0$, $tg^2 \beta_s = 1,25$																	
$\frac{n}{h_{\text{tm}}}$	Mérétek és az A tényező	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
		λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
0,2	0,04 43	17	21,7	0,02 37	13,6	16,1	0,02 37	29,1	30,6	0,02 37	50,3	41	0,02 37	77,3	61	0,012 35	3,5	—	—
0,4	0,22 63	25	26,8	0,08 50	18,3	20	0,08 50	39,3	41	0,085 51	70	62	0,08 50	104,5	98	0,048 45	4,5	5,68	—
0,6	0,55 74	29,2	30,3	0,21 62	22,6	23,5	0,21 62	48,7	50	0,22 63	86,2	80	0,21 62	130	130	0,109 54	5,4	6,36	—
0,8	1,97 81	33	33	0,42 71	25,9	26,3	0,42 71	55,8	58	0,44 71,3	97,6	95	0,42 71	148,5	154	0,194 61	6,1	6,8	—
1,0	—	—	35	0,71 77,5	28,3	29	0,71 77,5	61	64,5	—	—	—	—	—	—	0,30 66	6,6	7,2	—

Az anyag jellemző adatai		255. sz. sárgaréz: $q_f = 18 \text{ kg/mm}^2$, $q_a = 10 \text{ kg/mm}^2$, $q_s = 71 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_s q = 0,215$, $q_{\max} = 74 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_{\max} = 0,4$, $tg^2 \beta_s = 1,27$																	
$\frac{n}{h_{\text{tm}}}$	Mérétek és az A tényező	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
		λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
0,2	0,02 33	5,2	7,2	0,02 33	29	31,2	0,011 9	0,75	2,08	0,020 12	9	9,7	0,011 23	1,93	3,48	0,02 28	21,8	25	—
0,4	0,10 48	7,5	9,3	0,10 48	42,2	41	0,012 15	1,26	2,32	0,075 19,5	14,6	15	0,042 36	3,02	4,0	0,085 47	36,6	35	—
0,6	0,28 63	9,9	10,6	0,28 63	55,4	50	0,096 21	1,76	2,5	0,190 24,6	18,4	19,5	0,196 50	4,20	4,5	0,22 62	48,4	45	—
0,8	0,54 74	11,6	11,5	0,54 74	65	58	0,172 27	2,35	2,7	0,39 34	25,5	24	0,172 62	5,2	4,95	0,44 74	57,7	54,5	—
1,0	0,93	—	—	—	67	65	0,269 30	2,51	2,85	0,67 36,5	—	—	0,269 71	—	—	—	—	—	—

Az anyag jellemző adatai		257. sz. vörösréz: $q_f = 2,6 \text{ kg/mm}^2$, $q_a = 1,2 \text{ kg/mm}^2$, $q_s = 30,9 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_s q = 0,28$, $q_{\max} = 37,5 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_{\max} = 0,80$, $tg^2 \beta_s = 1,1$																	
$\frac{n}{h_{\text{tm}}}$	Mérétek és az A tényező	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
		λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
0,2	0,02 33	5,2	7,2	0,02 33	29	31,2	0,011 9	0,75	2,08	0,020 12	9	9,7	0,011 23	1,93	3,48	0,02 28	21,8	25	—
0,4	0,10 48	7,5	9,3	0,10 48	42,2	41	0,012 15	1,26	2,32	0,075 19,5	14,6	15	0,042 36	3,02	4,0	0,085 47	36,6	35	—
0,6	0,28 63	9,9	10,6	0,28 63	55,4	50	0,096 21	1,76	2,5	0,190 24,6	18,4	19,5	0,196 50	4,20	4,5	0,22 62	48,4	45	—
0,8	0,54 74	11,6	11,5	0,54 74	65	58	0,172 27	2,35	2,7	0,39 34	25,5	24	0,172 62	5,2	4,95	0,44 74	57,7	54,5	—
1,0	0,93	—	—	—	67	65	0,269 30	2,51	2,85	0,67 36,5	—	—	0,269 71	—	—	—	—	—	—

Az anyag jellemző adatai		Kör k. m.: $\lambda = 380,0 \text{ mm}$, $b = 10,03 \text{ mm}$, $2R = 9,5 \text{ mm}$, $h = 50 \text{ mm}$, $A = 0,0838$																	
$\frac{n}{h_{\text{tm}}}$	Mérétek és az A tényező	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
		λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$	λ	q	$\frac{M_{\text{szám.}}}{\text{mm}^2}$
0,2	0,02 33	5,2	7,2	0,02 33	29	31,2	0,011 9	0,75	2,08	0,020 12	9	9,7	0,011 23	1,93	3,48	0,02 28	21,8	25	—
0,4	0,10 48	7,5	9,3	0,10 48	42,2	41	0,012 15	1,26	2,32	0,075 19,5	14,6	15	0,042 36	3,02	4,0	0,085 47	36,6	35	—
0,6	0,28 63	9,9	10,6	0,28 63	55,4	50	0,096 21	1,76	2,5	0,190 24,6	18,4	19,5	0,196 50	4,20	4,5	0,22 62	48,4	45	—
0,8	0,54 74	11,6	11,5	0,54 74	65	58	0,172 27	2,35	2,7	0,39 34	25,5	24	0,172 62	5,2	4,95	0,44 74	57,7	54,5	—
1,0	0,93	—	—	—	67	65	0,269 30	2,51	2,85	0,67 36,5	—	—	0,269 71	—	—	—	—	—	—

a berepedés csak λ_Σ elérése után áll be, ennél fogva a berepedést okozó n_b forgások száma a következő képletből számítható ki:

$$\lambda_\Sigma = (1 + \lambda_e) (1 + k) - 1 = 227,5 \left(b_{dm} \cdot \frac{n_b}{h_{dm}} \right)^{2,5}. \quad (121.)$$

δ_1) Váltakozó irányú elcsavarások.

125. Váltakozó irányú elcsavarásokkal LUDWIK foglalkozott behatóan.*) Kísérleteiből kitűnik, hogy ismételt váltakozó irányú elcsavarások következtében az anyag épűgy elveszti szívósságát, mint váltakozó irányú hajlítások folytán; ezért mondhatjuk, hogy az anyag váltakozó irányú ismételt csavarások következtében kimerül, még pedig annál hamarabb, minél nagyobb mértékű az elcsavarás.

ζ) A vágás és a forgácsolás.

α_1) A forgácsolás fajtái.

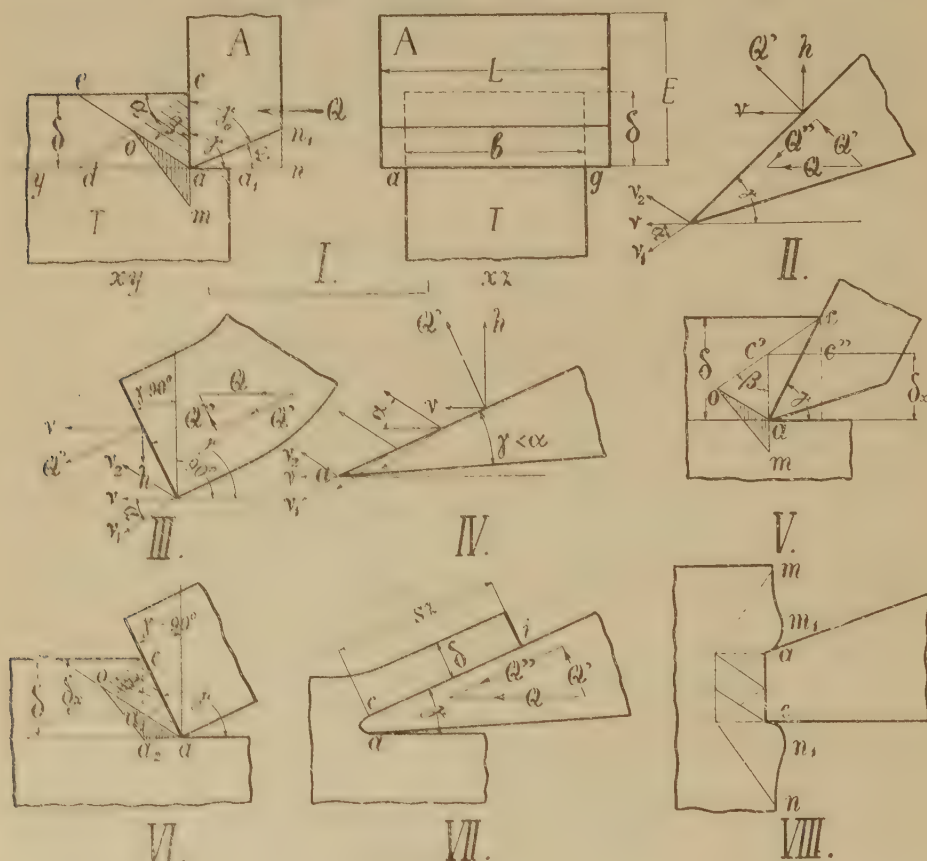
126. A 77. pontban kifejtettek szerint vastag tárgyakra a harapó szerszám épen úgy hat, mint két szemközt lévő vágó szerszám, miért is vastag tárgyak vágásánál ugyanazok a jelenségek érvényesülnek, mint azok harapásánál. Az idézett pont szerint azonban a vágás nemcsak a harapással, hanem a forgácsolással is kapcsolatban áll, t. i. a forgácsolás a vágástól csak abban különbözik, hogy vágásnál a szerszám mérete az xy síkban kisebb a leválasztandó rétegnél, forgácsolásnál ellenben nagyobb, épen ezért indokolt, hogy a vágást a forgácsolás egyik fájának tekintsük.

127. Feladatunk egyszerűsítése kedvéért a forgácsolás tárgyalását ennek legegyszerűbb módjával kezdjük. Ez akkor áll be, ha a 90° metszőszögű harapó szerszámpár egyik elemét a tárgy széle felé annyira eltoljuk, hogy az xy síkban a szerszámmal érintkező δ vastagságú forgács kisebb az él vastagságánál, vagyis $\delta < E$, amint ezt a 60. l. ábra mutatja és ha a másik fűsikban, t. i. az xz síkban az él hosszúsága (L) nagyobb a tárgy szélességénél (b), vagyis: $L > b$, amint ezt a 60. l. ábra jobboldali része feltűnteti.

Minthogy az A szerszám a T tárgyra nyomást fejt ki, hatását a szélső a és c , valamint az a és g pontokból meghúzott elmozdulási irányvonalakkal jelezhetjük. Ezek az irányvonalak a szomszédos részek gátlása folytán a szűrésnél és a harapásnál kifejtettek szerint elgörbülnek ugyan, de a jelölés egyszerűsítése kedvéért ezeket mégis egyeneseknek fogjuk rajzolni.

*) L. a Zeitschrift d. Oest. Ingenieur- u. Architekten-Vereins 1916. évi folyamát és nevezett szerzőnek *Elemente der Technologischen Mechanik* című 1909-ben megjelent művét.

Forgácsolásnál — épúgy, mint harapásnál — az elmozdulások mindkét síkban egyidejűleg mennek végbe, ezért a szerszám nyomófelülete előtt a 85. pontban kifejtettek szerint oly teknőszerű rész képződik, amely két irányban kötve van. Ezt a részt a 60. l. ábrán aoc -vel jelöltük; vastagsága: $\frac{\delta}{2} \cdot \operatorname{ctg} \beta$. Harapásnál (l. a 34. l. ábrát) ez a rész követi a szerszám irányát, forgácsolásnál azonban az xy síkban a szabad oldal felé.



60. ábra.

A forgácsolásnál érvényesülő erőhatások.

kénytelen haladni, mert a cd irányvonalak mentén az elmozdulás érvényesülni nem képes.

A forgácsolás maradó alakváltozásakor tehát az aoc kötött rész távolodik az ax sík alatt lévő anyagtól s így erre húzó hatást fejt ki. E hatás — a 86. pontban kifejtettek szerint — a kötött rész méretének felére terjed; az él mellett tehát a húzott rész hosszúsága: $am = \frac{1}{2} ac$, az o -val jelölt pontban pedig zérus.

Ámde az $\alpha o c$ kötött rész még más hatást is fejt ki. Ez ugyanis a szerszám előhaladása arányában távolodik a tárgy a_1 szélétől s ezzel a megmunkálás síkjában is húzóhatást gyakorol. E hatás következtében a szerszám élét túlhaladó aa_1 rész, ha anyaga szívós, elhajlik; ezzel rugalmassága nő, s ennek következtében a tárgy ismét kiegyenesedni törekszik, miközben a szerszám hátsó lapjával surlódik. Hogy e káros jelenséget csökkentjük, a forgácsoló szerszám hátsó lapját a haladás irányához képest ε szög alatt helyezzük el, amint ezt a 60. I. ábrán feltüntettük. Az így keletkező $\varepsilon - n a n_1$ szöget *elhelyezés szögének*, az $n_1 a c - \gamma_0$ szöget *ékszögnek*, e kettőnek összegét pedig $(\gamma_0 + \varepsilon - \gamma)$ *metszőszögnek* nevezzük. A metszőszög tehát a mellső lapnak a haladás irányával alkotott szöge.

128. Az előző pontban a szerszám mellső lapját a haladás irányára normálisan vettük, ezért annak metszőszöge 90° volt. A következőkben a 90° -tól eltérő nagyságú metszőszögnek hatását fogjuk vizsgálni. A 60. I. ábra szerint 90° metszőszöggel bíró szerszám esetén a külső erő normálisan hatott a tárgy felületére. De ha $\gamma = 90^\circ$, a 60. II. s III. ábrák szerint a külső erő már v és h komponensekre bontható. A v komponens iránya mindenkor megegyezik a haladás irányával, a h komponens iránya azonban hegyes metszőszög esetén (l. a 60. II. ábrát) a megmunkálás síkjától távolodik, ezért pozitív előjelűnek tekinthető, tompa metszőszög esetén (l. 60. III. ábrát) pedig a megmunkálás síkja felé tart, ezért negatív előjelű. Ez okból a tompaszögű szerszám hatása eltér a hegyesszögűétől.

Ámbár a v komponens mindenkor a szerszám haladása irányában fejt ki nyomást, érvényesülése mégis igen változó, mert azt a 82. pontban kifejtettek szerint a szerszám metszőszöge befolyásolja. A 60. IV. ábra szerint ugyanis, ha $\gamma = 0^\circ \sim \alpha$, a komponensnek csak egyik irányvonala érvényesülhet, mert a másik a szerszám felé halad s így az anyagot a szerszám mellső lapjához: a pengéhez szorítja. Ilyen esetben az a él előtt sem keletkezik olyan kötöttség, mint 90° -nál (l. a 60. I. ábrán az $\alpha o c$ részt), ezért az igénybevétel e faját *vágásnak* nevezzük. A vágást jellemzi tehát, hogy $\gamma \leq \alpha$.

Ha pedig $\gamma > \alpha$, akkor a 31. VII. ábra szerint nemcsak a v , hanem a h komponens eltoló hatása is érvényesül. A v komponens folytán azonban most már, amint a 60. V. ábrából kitűnik, az a él előtt kötöttség is keletkezik, ezért ez a művelet már *forgácsolás*. Jellemző, hogy az $\alpha o c'$ kötött rész annál kisebb, minél kisebb a γ metszőszög s mert a kötöttség növekedésével csökken a megmunkálás síkja alá kerülő húzott rész, így ezzel a megmunkált felület símasága nő. Abban az esetben, ha $\gamma > 90^\circ$, a műveletet a h komponens negatív előjele miatt *kaparásnak* nevezzük s mert a v komponens irányvonalai mentén az elmozdulás csak addig lehetséges, amíg $\gamma < 90^\circ + \beta$, azért a kaparás csak $90^\circ < \gamma < 90^\circ + \beta$ határok között megy végbe. (L. a 60. VI. ábrát.)

A forgácsolás fajait ismerve, az egyes fajoknál végbemenő alakváltozásokra és az ezek létrehozatalához szükséges erők számítására térünk át.

β_1) *A vágás.*

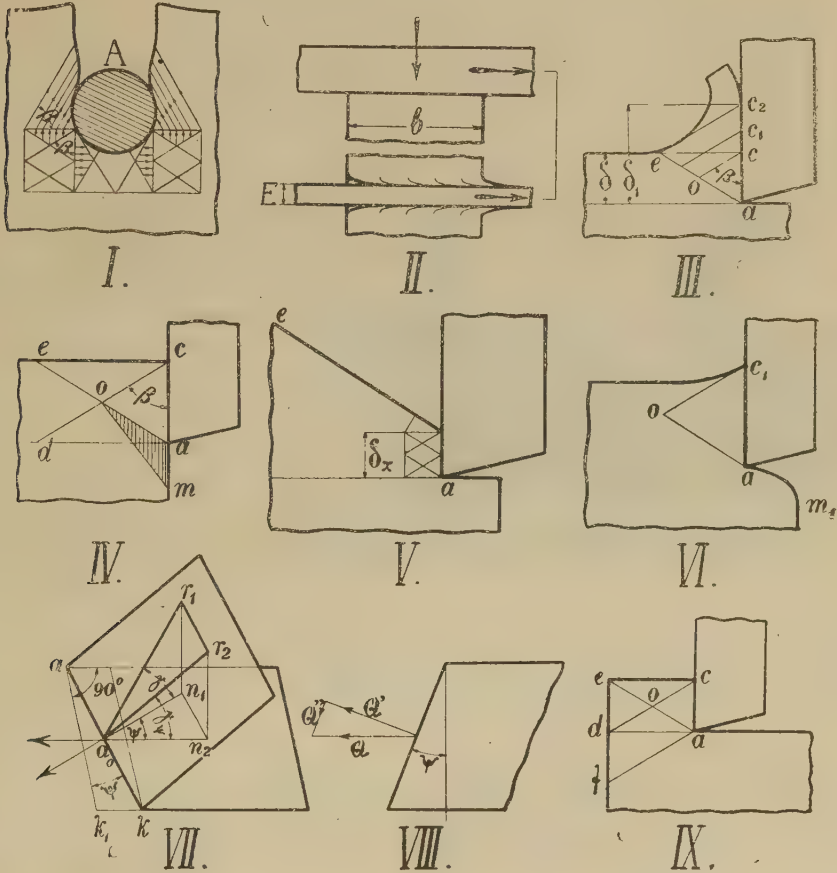
129. A forgácsolás fajainak tárgyalásakor feltételeztük, hogy a 60. IV. ábrán látható vágószerszám éle matematikai él. Ámde az anyag szemcsés szerkezete következtében ez a feltevés gyakorlatilag meg nem valósítható. Ugyanis a legélesebb él vastagsága legalább is akkora, mint egy-egy szemcse vastagsága, ezt a 60. VII. ábrán nagyítva ábrázoltuk. Épen ezért a vágó szerszám hatásának vizsgálatakor a (ci) lejtő (penge) hatásán kívül az $ac - E$ él is figyelembe kell vennünk. Az E él hatása teljesen olyan, mint a harapó és a szűrő szerszámoké, ennél fogva *képlékeny* anyagok esetén az éllel tovahaladó kötött rész következtében (l. a 60. VIII. ábrát) a szabad oldal duzzadni fog. A duzzadáshoz szükséges erő a 86. pontban közölt 68/d. képlet szerint:

$$Q = E b q z_1 (1 + tg^2 \beta). \quad (122.)$$

Amint a szerszám a tárgyba hatol, a penge is érintkezésbe jön az anyaggal s mert a v komponens irányvonala az anyagot a pengéhez szorítja, surlódás áll be. Lágy képlékeny anyagok azonfelül a pengéhez is tapadnak, és így a vágott felület símaságát csökkentik. E hátrányos jelenség csak úgy küszöbölhető ki, ha a pengét mellőzzük, vagy azt a minimumra csökkentjük. Ezt a célt elérjük, ha ékalakú szerszám helyett körkeresztmetszetűt használunk. Tudjuk, hogy ekkor a $2\varphi = 2\alpha$ központi szög által bezárt rész épen úgy hat, mint a sík lapú él, míg az a rész, amelynek központi szöge 2α -tól π -ig terjed, a penge hatását fejti ki. Minél kisebb a kör-keresztmetszetű szerszám átmérője, vagyis a drót vastagsága, annál símbb lesz a vágott felület. Hogy azonban a vékony drót kellő ellenállást is fejthessen ki, feszítenünk kell azt. Dróttal vágják a vaját, agyagot, szappant stb.

A vágás kezdetén, amint ezt az előbb kifejtettük, a szerszám alatt lévő kötött részek hatása következtében dróttal való vágás esetén is a felső lapnak a nyomószerszám melletti része duzzad (l. a 60. VIII. ábrát), mihelyt azonban a szerszám beljebb halad, az anyag élhossza mentén igyekszik elmozdulni. Ez elmozdulással szemben az ellenállás $q z_1$. Ámde ugyanekkor a 61. I. ábrán jelzett szekundér jelenség, t. i. az oldalfal duzzadása is érvényesülni törekszik, amelynek fajlagos ellenállása azonban: $q(1 + tg^2 \beta)$. Ha tehát $q(1 + tg^2 \beta) > q z_1$, azaz ha $1 + tg^2 \beta > z_1$, akkor az oldallapok is duzzadnak. E duzzadás drótalakú szerszám használatánál a rést szűkíti, de semmiféle más káros jelenséget nem okoz, ékalakú szerszám alkalmazása esetén a duzzadt anyag a pengéhez simul és így azt a v komponens lefelé mutató irányvonala a pengéhez szorítja. Az ily módon keletkező surlódás a 60. VII. ábra jelzése szerint $Q'f$, amelyet a Q'' törekszik

legyőzni. Mindaddig, míg $Q'' = Q'f$, a leválasztott réteg a pengén tovább csúszhatik. Ennek határeseteként tehát az, ha $Q \cos \gamma = f Q \sin \gamma$, vagyis ha $\operatorname{ctg} \gamma = f = \operatorname{tg} \varphi$, tehát ha $\gamma = 90 - \varphi$. Vágásnál $\gamma < 90 - \varphi$ -nél, ennél fogva a surlódás legyőzéséről külön gondoskodnunk nem kell, 45° -nál nagyobb metszőszögű szerszámoknál azonban a surlódás legyőzéséhez szükséges erőtöbbletet is számításba kell vennünk, mert ekkor a kötött rész is surlódik.



61. ábra.

A forgácsolásnál érvényesülő erőhatások.

Ámde a jelzett alakváltozásokon kívül a penge a levágott rész elhajlítását is végzi. A hajlító erő egyik reakciója a 98/a. képlet értelmében:

$$Q_h = \frac{b \delta^2}{1/2 L} p_{0,90} = \frac{b \delta^2}{1/2 L} q \operatorname{ctg}^2 \beta_{0,90}$$

s mert a 60. VII. ábra szerint $s_z = 1/2 L$, ezért ha az erő eloszlását az éltől kezdve arányosan kisebbedőnek vesszük: $1/2 L$ helyett $\frac{s_z}{3}$ veendő és mert

a hajlítást a Q_h komponens végzi, amelynek értéke: $Q_h = Q' = Q \sin \gamma$, azért:

$$Q \sin \gamma = \frac{b \delta^2}{sz} \operatorname{ctg}^2 \beta \cdot 2,7 q = \frac{b \delta^2}{sz} 2 q,$$

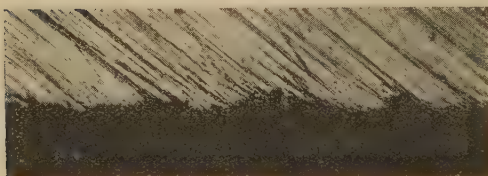
mert $\operatorname{ctg}^2 \beta \cdot 2,7$ kettőhöz igen közel áll.

A hajlítással együtt tehát a pengés késsel való vágás erőszükséglete:

$$Q_v = b q \left[E z_1 (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) + \frac{2}{\sin \gamma} \frac{\delta^2}{sz} \right]. \quad (122/a.)$$

Rideg anyagok vágásánál, a 86. pontban kifejtettek szerint, az él alatt képződő kötöttség következtében a tárgynak nyomott felszínrészei törnek ki, ha a szerszám a tárgy szélétől kellő távolban hat. (L. a 34. V. ábrán az $m d n$ -nel jelölt részt.) Ha azonban a szerszám a szélekhez közel hat, akkor a 34. I. ábra szerint a $c f$ oldallapja mentén reped be a tárgy. E berepedés után a szerszám már nem vág, hanem forgácsol.

Szívós anyagok vágásánál, ha az anyag szívóssága mérsékelt, a vágó-



62. ábra.
 Éles beretvaél felülnézetben.

× 150

szerszám bemélyedésekor az él alatt képződött teknőszerű kötött rész is beljebb hatol a húzást fejt ki a penge szomszédságában levő részekre. (L. a 60. VIII. ábrán az $a m_1$ és $c n_1$ részeket.) Ezek a húzott részek mindaddig megnyúlnak, míg fajlagos méretnövelésük eléri a λ_Σ értékét. Szívósságát az

anyag már ekkor az a és a c pontok szomszédságában elvesztette, ezért e pontok mentén bereped; a repedés azután a teknőszerű rész kerülete irányában halad tovább. Minél nagyobb a penge vastagsága, annál távolabb fekszenek a repedések kiinduló a és c pontjai egymástól s ezért a vágott felület egyenlőtlensége is növekszik a penge vastagságával. Az első réteg beszakadása után a szerszám beljebb hatol ugyan, azonban a húzott réteg a már elszakadt részek gátlása folytán kevésbé nyúlhatik, miért is a repedés gyorsabban terjed. Az ilykép leválasztott réteget a penge el is hajlítja.

A most elmondottak szerint szívós anyagok vágása a vágásból és a hajlításból tevődik össze. Az előbbinek erőszükséglete:

$$Q_1 = b E q_{\max} z_1 (1 + \operatorname{tg}^2 \beta).$$

A hajlításé:

$$Q_{11} = \frac{1}{\sin \gamma \cos \gamma} \frac{b \delta^2}{sz} q_{\max};$$

az összes erő tehát:

$$Q_{\max} = Q_1 + Q_{11},$$

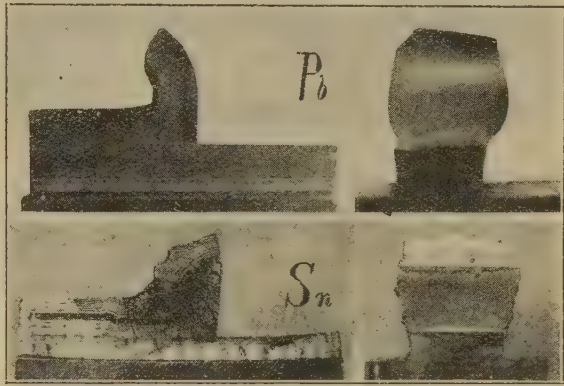
azaz:

$$Q_{\max} = b q_{\max} \left[E z_1 (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) + \frac{1}{\sin \gamma \cos \gamma} \frac{\delta^2}{sz} \right]. \quad (122/b.)$$

Nagyfokú szívóssággal vagy tömöríthetőséggel bíró anyagok vágásánál azonban a 86. pontban kifejtettek szerint a megnyúlt rétegek a pengéhez símulnak s az él vastagodását okozzák. Az ilyen anyagok azért vagy egyáltalában nem vághatók (t. i. a szerszám befalazódik), vagy a vágott felület éles szerszám használata esetén is igen egyenlőtlennek válik. Nagy szívóssággal bíró anyagok darabolására ez okból a vágás művelete helyett a metszést használjuk.

130. Nagyító alatt nézve, a legélesebb penge is fűrészhez hasonlít (l. a 62. ábrát). Ha tehát az élesre fent vágó szerszámot a tárgyhoz gyengén szorítjuk és egyidejűleg élének hosszúsága irányában elhúzzuk, úgy ezzel elmozdítjuk a szerszám alatti kötött részeket is. A kötött részek elmozdulása következtében

a szomszédos anyagrészek megnyúlnak, amint ezt a 61. II. ábra láttatja. Ez eljárással bármily nagyfokú fajlagos megnyúlást (λ_{Σ} -t) okozhatunk, anélkül, hogy a megnyúlt anyag a pengét megvastagítaná. A metszett felület egyenlőtlensége épen ezért csak a penge vastagságától függ; az éles pengével készült metszett felület tehát síma. Minthogy a penge élírányú elmozdulása következtében a tárgy és a szerszám között nagyfokú surlódás támad, a szerszám anyaga kopik, még pedig annál jobban, minél keményebb a metszendő tárgy, ezért a metszést csak lágy anyagoknál használhatjuk.



63. ábra.

 $\times 1/2$

Az ólom- és az önforgács alakja, kilencvenfokú szerszám használatakor. A baloldali képek a forgácsot oldalnézetben ábrázolják, a jobboldaliak pedig elülnézetben.

γ_1) A forgácsolás 90° -ú metszőszögű szerszámmal.

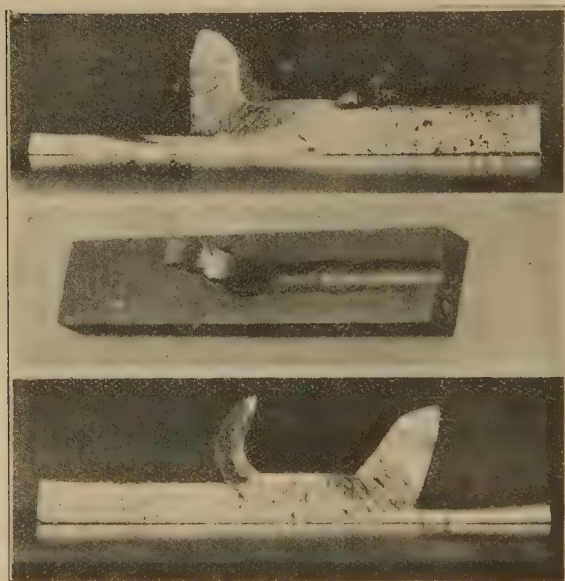
131. A 90° -ú szerszám hatása nagyon képlekeny anyag forgácsolásánál a következő. A külső erő a 61. III. ábra szerint nyomóhatást fejt ki, amely az ae irányban szabadon érvényesülhet, miért is a szükséges feszültség a rendes nyomófeszültségnél (q_{max}) nagyobb nem lehet. A nyomott felület kezdetben $b \cdot ac - b \cdot \hat{e}$, később azonban az ae síkban való elmozdulás következtében $\hat{e}_1 > \hat{e}$. Tegyük fel, hogy a forgács vastagsága ac_1 lett, ekkor azonban az elmozdulás irányvonalát nem c -ből, hanem c_1 -ből kell meghúznunk, amint azt a 61. III. ábra mutatja.

Ez ábrából kitűnik, hogy a forgács duzzadása következtében nagyobb a kötött rész s ennek folytán az él melletti kúprész is. A kötöttség növekedése csak addig fokozódik, míg a forgács vastagsága eredeti méretének kétszeresére nőtt, vagyis:

$$\delta_1 = 2\delta. \quad (123.)$$

Amint $\delta_1 = a c_2 > 2\delta$, a duzzadás legfelsőbb pontjából meghúzott irányvonalak már nem érik a megmunkálandó test felületét, ennél fogva nem nyomást, hanem hajlítást okoznak, amelynek következtében a $\delta_1 = 2\delta$

vastagságú forgács a szerszámtól elhajlik, mint ezt a 61. III. és a 63. ábra mutatja.



64. ábra.

A 252. számú folyasztott vas forgácsának képei. A felső kép a 90°-ú metszőszögű szerszám használatakor képződött forgácsot, az alsó a hegyesmetszőszögű szerszám esetén képződöttet, a középső pedig a karcoláskor előállítottat mutatja.

A forgácsmagasság méretének (δ) növekedése dacára azonban, az élből kiinduló, a szabad felület felé haladó irányvonal hosszúsága nem változik, amint az a 63. ábra felső képéből kitűnik, amely a hideg állapotban való kovácslással, szívósságától megfosztott *ólom*nak forgácsát szemlélteti. Ez az irányvonal a 61. III. ábrán *ae*-vel van jelölve. Mint-hogy a nyomott test ellenállása az elmozdulás irányvonalának hosszúságától függ, vagyis mert a szükséges nyomóerő az *ae* irányvonalnak az erőirányára merőlegesen

álló síkra eső vetületének a függvénye, következik, hogy a nagyon képlékeny anyagok forgácsolásához szükséges nyomóerő állandó, értéke pedig, mert az *ae* vetülete $\hat{z}$ -vel egyenlő, $\hat{z} b q_{max}$ szorzattal fejezhető ki. Ha azonban a szélesség nagyobb a vastagság kétszeresénél, az egyik fősíkban keletkező egyenlőtlen elosztás következtében a nyomóerő $\sqrt{z_b}$ -vel nő.

A z_b értéke a 36. képlet szerint a következő:

$$z_b = \sqrt{\frac{(n_b + 1)(2n_b + 1)}{6n_b}} \quad \text{és} \quad n_b = \frac{b}{2\delta \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \beta} = \frac{b}{2\delta} \quad (124.)$$

Megemlíjtük még, hogy a 129. pontban kifejtettek szerint 90°-ú szerszám esetén a tárgy és a szerszám között keletkező surlódás is legyőzendő. A surlódás nagysága Qf , iránya a nyomóerőre normális, mert gátolja a δ méretnövelést, ez okból legyőzéséhez $Qf \cdot \operatorname{tg}^2 \beta$ erőttöbblet kell. Az elmondottakból következik, hogy a képlékeny anyagok forgácsolásához szükséges erő, ha a szerszám és tárgy közötti surlódást is figyelembe vesszük, a következő képlettel fejezhető ki:

$$Q = \delta b \cdot \sqrt{z_b} q_{\max} (1 + f \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (125.)$$

E képletből következne, hogy a forgácsoló erő értékét állandóan fenntartja, a kísérletek szerint azonban, amint az a 65. I. ábrából is kitűnik, értéke lassan bár, de folyton nő. E jelenség oka a következő: nagyon képlékeny anyagok forgácsa összefüggését nem veszti el, miért is az elhajlítás ellen fokozottabb ellenállást fejt ki. Oly esetben pedig, ha a szerszám előtt a forgács elhelyezkedésére fenntartott férő korlátolt, az betömődik s ezzel a forgácsolás lehetetlenné válik.

Képletünk alkalmazhatóságát a XVII. táblázatban foglalt kísérleti és számított adatok megegyező volta igazolja.

132. Rideg anyagoknál a szerszám nyomása következtében a tárgy az ae irányvonal mentén reped el (l. a 61. IV. ábrát). A tovább haladó szerszám most már a 61. V. ábrán látott kis felületű testrésszel érintkezik, ez okból szűrő hatást fejt ki, amelyre nézve jellemző, hogy a testből teknőszerű rész reped ki. Épen ezért a szerszám tovahaladásával már nagyobb felületű testrésszel érintkezik ugyan, hatása azonban mindaddig szűrő lesz, míg:

$$\delta_x b q_t (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) < \delta b q_t. \quad (126.)$$

Amint az érintkező felület magasságmérete

$$\delta_x \frac{\delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} \quad (126 a.)$$

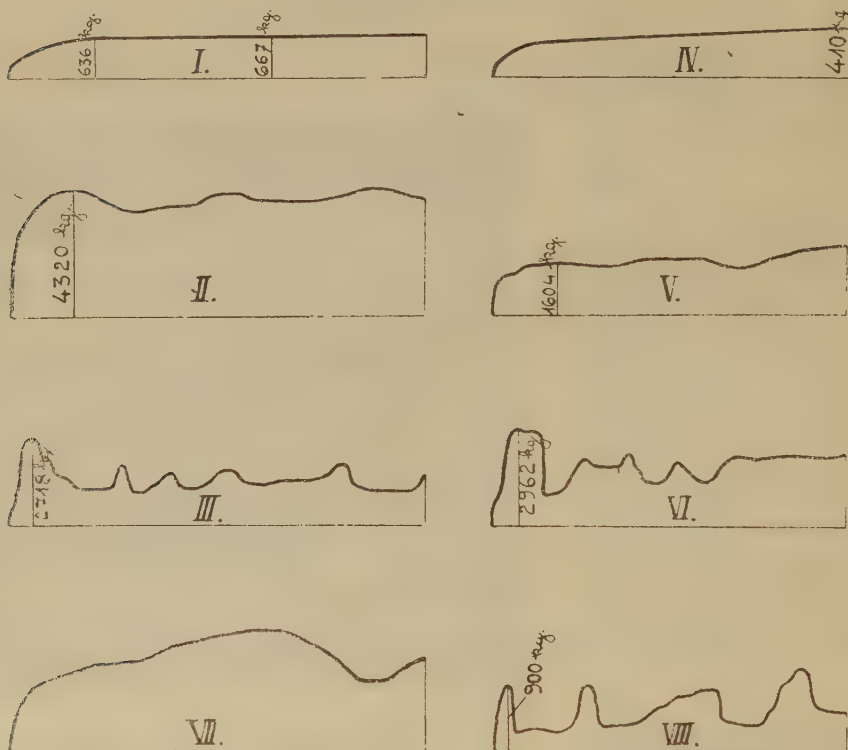
lesz, a berpedés ismét az ae -vel párhuzamos irányban megy végbe. Ez utóbbi berpedéskor a forgács vékony lemezes alakot nyer, holott a teknőszerű részek kirepedésekor az poralakú. A 61. V. ábrából kitűnik, hogy a teknőszerű részek kirepedése mindig a megmunkálás síkja fölött megy végbe, a 61. IV. ábrából pedig, hogy az ae irányú repedések alkalmával a húzott részek a megmunkálás síkja alá is terjednek. Ez a körülmény okozza azt, hogy a *forgácsolt felület annál egyenlőtlenebb, minél vastagabb a forgács*. Az elmondottakból következik, hogy az erőszükséglet a forgácsolás kezdetén a legnagyobb s hogy az első berpedés után csökken, de ezután ismét nő, amint ezt a 65. III. ábra mutatja. A maximális erő értéke:

$$Q_{\max} = \delta b \sqrt{z_b} q_t (1 + f \operatorname{tg}^2 \beta). \quad (127.)$$

Képletünk alkalmazhatóságát a XVII. táblázatban foglalt kísérleti és számított adatok megegyező volta igazolja.

133. Szívós anyagoknál, feltéve, hogy a szívósság korlátozott, forgácsoláskor méretnövelésük nem a $\delta(1 + \lambda_{\max})$, hanem csak a $\delta\sqrt{1 + \lambda_{\max}}$ képletnek megfelelően történhetik azért, mert a fősíkban a 27. pontban ismertetett két irányú elmozdulások közül csak az egyik érvényesülhet. A szerszám tehát mindaddig bemélyedhet, míg az egy irányban érvényesülő elmozdulások következtében:

$$\delta_1 = ac_1 = \delta\sqrt{1 + \lambda_{\max}} \quad (128.)$$



65. ábra.

A forgácsoló erők ábrái.

Kilencvenfokú forgácsoló szerszám használatakor:

I. az ólom ábrája, ha $b = 24,9$ mm, $\delta = 10$ mm.II. a 252. folytvas ábrája, ha $b = 20,2$ mm, $\delta = 1,6$ mm.III. a 316. szürke vas „», ha $b = 10,08$ mm, $\delta = 3$ mm.

Kilencvenfokú karcoló szerszám esetén:

IV. az ólom ábrája, ha $\Delta = 61,1$ mm².V. a 252. folytvas ábrája, ha $\Delta = 9,8$ mm².VI. a 316. szürke vas ábrája, ha $\Delta = 22,45$ mm².

Hegyes metszőszögű szerszám esetében:

VII. a 252. folytvas ábrája, ha $b = 7,98$ mm, $\delta = 3,5$ mm és $\gamma = 71^\circ$.VIII. a 316. szürke vas ábrája, ha $b = 10,07$ mm, $\delta = 3$ mm és $\gamma = 77^\circ$.

lesz. Ekkor ugyanis a deformált anyag már elvesztette szívósságát és a szerszám éle mellett levő húzott részben beszakad. A szerszám tovahaladásával a repedés is tovább terjed, éppen ezért a szerszám a berepedés síkja alatt fekvő anyagnak oly kis felületű részével érintkezhetik, hogy szűrőhatást fejt ki, amint ezt a 61. V. ábrán jeleztük. Minthogy az anyag szívós, a szerszám szűrő hatása következtében a méretnövelés a szabad

felület felé irányúl, még pedig a 126/a. képlet szerint mindaddig, míg az érintkező felület magassága a

$$\delta_x = \delta \frac{\sqrt{1 + \lambda_{\max}}}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} \quad (128/a,$$

értéket éri el és amint ezt elérte, az alakváltozás a rendes nyomás következtében megy végbe, miért is berepedés ismét a szerszám éle mellett levő húzott részben indul meg. Minthogy a húzott rész a forgácsolás síkja alá is terjed, ezért a berepedés ez alá jut és egyenlőtlené teszi a forgácsolt felületet, még pedig *annál egyenlőtlenebbé, minél vastagabb a forgács.* (L. a 61. III. és IV. és a 63. s 64. ábrát.)

Szívós anyagoknál a δ növekedésével egyidejűleg nő az elmozdulás irányvonala is, amint ez a 63. s 64. ábrák képeiből kitűnik, ezért a nyomóerő képletében δ helyett $\delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}}$ teendő.

Forgácsoláskor azonban a δ méreten kívül a b méret is változik, még pedig mindkétirányú elmozgások következtében; de mert a megmunkálás síkjában a szélesség az alatta fekvő anyag gátlása miatt változatlan és mert csak a $\delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}}$ -ig terjedő szélesbedés növeli a nyomófelületet, ezért méretnövelésének csak negyede veendő számításba:

$$b_1 = b \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4} \right).$$

Ha azonban $b > 2\delta$ -nál a szélesség méretnövelése z_b től függően csökken. Számos anyaggal végzett kísérleteink szerint a szélesség változása a következő képlettel fejezhető ki:

$$b_1 = b \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 z_b^3} \right) \quad (129.$$

Az elmondottakból következik, hogy a forgácsolás erőszükséglete változó és hogy legnagyobb értéke a következően fejezhető ki:

$$Q_{\max} = \delta b \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 z_b^3} \right) \sqrt{z_b} q_{\max} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta), \quad (130.$$

A 129. képlet érvényességének határa azonban korlátolt, mert a nagyon szívós anyag forgácsa nem hajlik el, ha $\delta_1 > 2\delta$, mint a képlékeny anyagnál, hanem folyton nő és ezzel nő a húzott rész is. De mert a húzott rész feszültsége az $a c \cdot b$ felületen (l. a 60. I. ábrát) előálló surlódást törekszik legyőzni, következik, hogy amint e húzófeszültség nagyobb a mellső lapon beálló surlódásnál, a forgács a kés alól kicsúszik.

134. Szívós és képlékeny anyagok esetén az alakváltozás először szívós, azután képlékeny. Szívós alakváltozás következtében a forgács vastagsága a 128. képlet szerint: $\delta_1 = \delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}}$ értéket érhet el, ez érték a 61. III. ábrán $a c_1$ -el van jelölve. Képlékeny alakváltozás folytán a δ_1 érték tovább nőhet $\delta_b = a c_2$ -re, amelynek értéke:

$$\delta_b = \delta \sqrt{1 + \lambda_{\Sigma}} = \delta \sqrt{(1 + \lambda_e)(1 + k)} = a c_2 \leq 2\delta. \quad (131.$$

Korlátoltan szívós és képlékeny anyagok esetén, vagyis ha $\sqrt{1 + \bar{\lambda}_\Sigma} < 2$ -nél, a δ_b elérésekor az anyag az éltől kiindulva berepedt, miért is az erő csökken, de a 133. pontban ismertetett szűrőhatás következtében ismét eléri eredeti értékét. A forgácsoló erő e hullámzását a 65. II. ábra szemlélteti. Ha azonban $\sqrt{1 + \bar{\lambda}_\Sigma} > 2$ -nél, a forgács nem reped be, hanem a képlékeny anyagoknál elmondott módon csak elhajlik és tömörül az él előtt. Minthogy a forgácsoló-erő növekedését a 131. és 133. pontokban kifejtettek szerint egyedül a szívósság befolyásolja, a korlátoltan szívós és képlékeny anyagok forgácsolásához szükséges erő képlete a 130. képlettel teljesen megegyező, vagyis

$$Q_{max} = \delta b \sqrt{1 + \bar{\lambda}_{max}} \left(1 + \frac{\lambda_{max}}{4 z_b^3} \right) q_{max} \sqrt{z_b} (1 + f t g^2 \beta).$$

E képletből kitűnik, hogy a forgácsoló erő a forgács alakjától, a surlódási tényezőtől s az anyag jellemzőitől függ. Ha az anyag jellemzőitől függő tényezőket *fajlagos forgácsoló keménységnek* nevezzük és azokat q_s betűvel jelezzük, akkor:

$$q_s = q_{max} \sqrt{1 + \bar{\lambda}_{max}}, \text{ de ez legfeljebb } 2 q_{max} \text{ lehet.} \quad (132.)$$

E jelzést a 130. képletben alkalmazva:

$$Q_{max} = \delta b \left(1 + \frac{\lambda_{max}}{4 z_b^3} \right) \sqrt{z_b} (1 + f t g^2 \beta) q_s. \quad (130 a.)$$

Képletünk használhatóságát a XVII. táblázatba foglalt kísérleti s számított értékek megegyező volta igazolja.

δ_1) A forgácsolás hegyes metszőszögű szerszámmal.

135 A 90° metszőszögű szerszám erőszükségletét ismerve, a hegyes metszőszögű szerszámok erőszükségletének kiszámítására térünk át. Hegyes szerszám használatakor az él fölött képződő kötött rész magassága a 60. V. ábra szerint $a' < \delta$. Ez az oka annak, hogy a hegyes metszőszögű szerszám erőszükséglete is kisebb a 90° -úénál.

Jelöljük a kötött rész magasságát $a' = \delta_x$ -el s ha ezt a 130. képletben a δ helyébe tesszük és a súrlódást a 129. pont értelmében szintén számításba vesszük, akkor a hegyes metszőszögű szerszám erőszükségletét kapjuk, amely eszerint:

$$Q_{vmax} = \delta_x b \sqrt{1 + \bar{\lambda}_{max}} \left(1 + \frac{\lambda_{max}}{4 z_b^3} \right) \sqrt{z_b} q_{max} (1 + f t g^2 \beta). \quad (133.)$$

Ámde a 60. V. ábra szerint $\delta_x = \delta - c'c''$ és mert $c'c'' = c'c'' \operatorname{ctg} \beta$ és $c'c'' = \delta \operatorname{ctg} \gamma$, azért

$$\delta_x = \delta (1 - \operatorname{ctg} \beta \operatorname{ctg} \gamma). \quad (134.)$$

Ezt a 133. képletbe téve:

$$Q_{vmax} = \delta b (1 - \operatorname{ctg} \beta \operatorname{ctg} \gamma) \sqrt{1 + \bar{\lambda}_{max}} \left(1 + \frac{\lambda_{max}}{4 z_b^3} \right) \sqrt{z_b} q_{max} (1 + f t g^2 \beta). \quad (133 a.)$$

XVII. táblázat.

Az anyag száma és jellemző adatai		Forgácsolás 90° metszőszögű szerszámmal, ha $f = 0,10$					Forgácsolás hegyes metszőszögű szerszámmal, ha $f = 0,10$					
		b mm.	z mm.	z_b	Q kg.		γ	b mm.	z mm.	z_b	Q kg.	
					számított	kísérleti					számított	kísérleti
Képlékeny	Ólom: $q_{max} = 1,87 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_{max} = 0,1$, $k > 4$, $tg^2 \beta_e = 1,3$	24,9	10	1,025	585	636	—	—	—	—	—	—
	Ón: $q_{max} = 3,2$, $\lambda_{max} = 0,25$, $k > 4$, $tg^2 \beta_e = 1,6$	23,8	12	1,025	1340	1292	—	—	—	—	—	—
Rideg	316. sz. öntött vas: $q_{max} = 61,2 \text{ kg/mm}^2$, $tg^2 \beta_e = 3,6$	10,08	3	1,075	2610	2718	77°	10,07	3	1,075	2310	2200
		10,06	1,8	1,22	1660	1670	71°	10,07	1,5	1,29	1240	776
	186. sz. folytvas: $q_{max} = 67$, $\lambda_{max} = 1,0$, $k = 1,3$, $tg^2 \beta_e = 1,22$	15,1	3,1	1,17	6340	5260	77°	14,94	2	1,33	3780	4680
		14,95	1,55	1,46	3220	3300	71°	15,05	5,65	1,033	8660	8600
	251. sz. folytvas: $q_{max} = 67,4$, $\lambda_{max} = 0,90$, $k = 1,32$, $tg^2 \beta_e = 1,3$	20,74	4	1,2	10700	9510	77°	9,73	2,5	1,11	2620	3060
		20,75	1,4	1,73	4170	3780	71°	9,86	2	1,17	1878	2270
	252. sz. folytvas: $q_{max} = 75$, $\lambda_{max} = 0,70$, $k = 1,4$, $tg^2 \beta_e = 1,31$	20,25	3,15	1,275	8600	8250	77°	7,83	2	1,11	1717	1710
		20,2	1,6	1,62	4720	4320	71°	7,98	3,5	1,014	2820	2790
Korlátoltan szívós és képlékeny	264. sz. acél: $q_{max} = 83,6$, $\lambda_{max} = 0,70$, $k = 1,03$, $tg^2 \beta_e = 1,23$	15,8	3	1,2	6980	6700	77°	15,81	1,5	1,51	3090	3535
		15,65	1	1,71	2580	2010	71°	15,8	2	1,36	3700	3640

Az erőt jelző Q betűt ν indexszel azért láttuk el, mert képletünk nem a külső erővel, hanem ennek a 60. II. ábrán ν -vel jelzett komponensével egyensúlyban levő belső erőket jelzi. Minthogy a külső erő iránya a mellő lap irányára nem normális, ez e lápra normális Q' -re és az ezzel párhuzamos Q'' -re bontható. A Q' azonban továbbá a haladási irányba ν -re és erre normális h -ra bontható s mert $\nu = Q_\nu = Q' \sin \gamma$ és $Q' = Q \sin \gamma$,

$$\text{így } \nu = Q_\nu = Q \sin^2 \gamma. \quad (135.)$$

Ezt a 133 *a.* képletbe helyettesítve és az egyenletet rendezve az erő képlete ily alakot nyer:

$$Q_{\max} = \varepsilon b \left(\frac{1 - \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{ctg} \beta}{\sin^2 \gamma} \right) \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 z_b^3} \right) \sqrt{z_b} q_{\max} (1 + f \operatorname{tg}^2 \beta). \quad (133/b.)$$

Hegyes metsző-szögű szerszám használatakor a húzott rész, amint már kifejtettük, kisebb mint a 90°-únál; ez okból ugyan olyan vastag forgács levételekor a forgácsolt felület hegyes metszőszögű szerszám használatakor sí mább lesz mint 90°-ú esetén, amint ezt a 64. ábra igazolja. Végre felemlítjük, hogy a forgács berepedése a külső erő ingadozását okozza, amint az a 65. V. ábrából kitűnik.

Képletünk alkalmazhatóságát a XVII. táblázatba foglalt kísérleti és számított értékek megegyező volta igazolja.

136. Az előbbieken kifejtettük, hogy hegyes metszőszögű szerszámok használatakor a forgácsolt felület annál sí mább, minél kisebb az él a pontja fölött képződött kötött rész ε_x magassága (l. a 60. I. és V. ábrákat), de mert ε_x a 134. képlet szerint a γ szög kisebbedésével érhető el, ezért a forgácsolt felület egyenletességének fokozása végett a γ szöget lehetőleg csökkentenünk kell. Ámde ha a γ kisebbitését az ékszög csökkentésével végezzük, a szerszámot nagyon gyengítjük.

A γ kisebbedését azonban azzal is elérhetjük, ha az élt nem normálisan helyezzük el a haladás irányára, hanem ahhoz ψ szög alatt, amint ezt a 61. VII. ábra mutatja, ezért a γ kisebbitésének ezt a módját választjuk. Így eljárva az ékszög nagy lehet, a szerszám tehát elég erős, a metszőszög azonban csökken. Jelöljük a haladás irányára normális irányt $a k_1$ -gyel, az él irányát pedig $a k$ -val, ekkor a haladás irányán át a forgácsolás síkjára normálisan álló sík a szerszám mellő lapját $a_0 r_2$ vonalban metszi, ez pedig az alappal az $r_2 a_0 n_2 - \gamma_\psi$ szöget zárja be. Minthogy e γ_ψ szög a szerszám mellő lapjának a haladás irányával alkotott szöge, azért ez egyúttal a tényleges metszőszög is. Hogy ennek értékét kifejezhessük, helyezzünk az a_0 ponton át még oly síkot is, amely az élre ($a k$ -ra) normális. Ez a sík a szerszámot $a_0 r_1 n_1$ -ben metszi s mert:

$$r_1 n_1 = r_2 n_2 \text{ és } n_1 a_0 n_2 \sphericalangle = \psi,$$

továbbá: $a_0 n_1 n_2 \sphericalangle \approx 90^\circ$, így: $a_0 n_1 = a_0 n_2 \cos \psi$,

$$\text{tehát: } \operatorname{tg} \gamma_\psi = \frac{r_2 n_2}{a_0 n_2} = \frac{r_1 n_1}{a_0 n_1} \cos \psi = \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \psi, \quad (136.)$$

s mert $\cos \psi < 1$, következik, hogy $\gamma_\psi < \gamma$. Ezzel az eljárással tehát módunkban áll a metszőszöget nagy mértékben csökkenteni. Ha a csökkentést annyira fokozzuk, hogy $\gamma_\psi < \alpha$ -nál, akkor a forgácsolásból vágás lesz.

Ennek az elrendezésnek további előnye, hogy a külső erőnek a 61. VIII. ábrán Q'' -vel jelölt komponense a forgácsot az él irányában a szerszám egyik oldaláról a másikra tereli, amiáltal csökken, a szerszám és a tárgy közötti surlódás.

A forgácsolásról szóló eddigi tárgyalásainkban hangsúlyoztuk, hogy a v komponensből eredő irányvonalak közül csak azok érvényesülnek, amelyek a forgács felszíne felé tartanak. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy ez a következtetésünk csak addig érvényes, amíg a szerszám a tárgy végéhez nem ér, mert ekkor az a -ból húzott irányvonalak egyenlőtlensége már megszűnt s így a repedés az af irányban is végbemehet. E repedés az oka annak, hogy a forgácsolt felület végső széle mindig tompa, még pedig annál tompább, minél vastagabb a forgács (l. a 61. IX. ábrát). E káros jelenséget csak úgy küszöbölhetjük ki, ha a forgácsolást nem folytatjuk a tárgy egyik szélétől a másikig, hanem mindkét szélétől kezdve csak a középig.

ϵ_1) A kaparás.

137. Kaparás esetén, feltéve, hogy $\gamma < 90^\circ + \beta$ (l. a 60. III. ábrát) a $Q_v = v$ -vel jelzett komponens a forgácsra az eddig ismertetett módon hat, vagyis annak anyagát a felszín felé mutató irányvonalakban mozditja el. Minthogy pedig v a szerszám mellső lapjára ható Q' -nek, ez pedig a Q külső-erőnek csak egyik komponense, így a 60. III. ábra szerint a $v = Q_v$ -t a következőképen fejezhetjük ki:

$$Q_v = Q' \sin \gamma; \quad Q' = Q \sin \gamma,$$

tehát:

$$Q_v = v = Q \sin^2 \gamma = Q \cos^2 (\gamma - 90^\circ).$$

A 66. V. ábrán látható, hogy a szerszám előtt levő kötött résznek δ_x vastagsága a következő:

$$\delta_x = c a_1 = \delta + a_1 a_2 = \delta + a_2 c \operatorname{ctg} \beta = \delta [1 + \operatorname{ctg} \beta \operatorname{tg} (\gamma - 90^\circ)],$$

s mert az erő nagysága δ_x értékétől függ, így a kaparó erő képlete:

$$Q_{\lambda_{\max}} = \delta_x b \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 z_b^2} \right) \sqrt{z_b} q_{\max} (1 + f \operatorname{tg}^2 \beta) \frac{1}{\sin^2 \gamma},$$

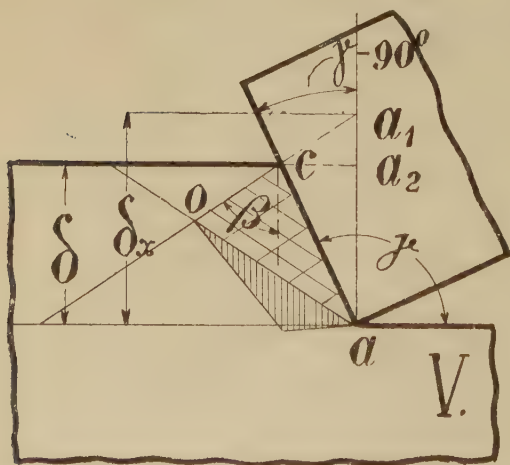
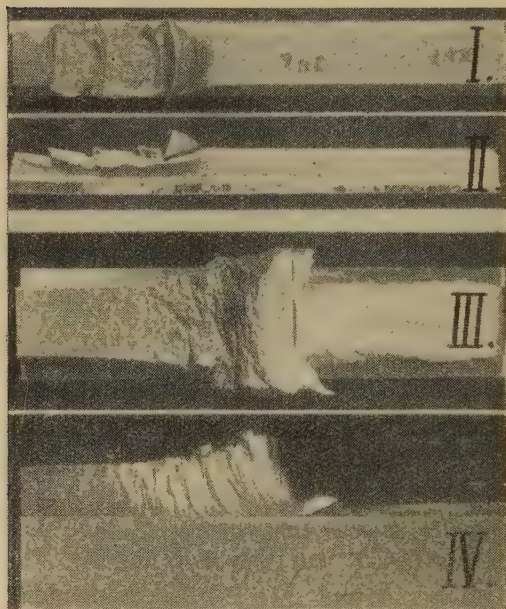
s ha δ_x értékét ebbe helyettesítjük, akkor:

$$Q_{\lambda_{\max}} = \delta b \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 z_b^2} \right) \sqrt{z_b} q_{\max} (1 + f \operatorname{tg}^2 \beta) \left[\frac{1 + \operatorname{ctg} \beta \operatorname{tg} (\gamma - 90^\circ)}{\cos^2 (\gamma - 90^\circ)} \right]. \quad (137.)$$

Amde kaparásnál, amint a 60. III. ábrából kitűnik, a külső erőnek Q'' komponense a surlódást legyőzni képes, ha a $\gamma - 90^\circ$ szög nagyobb

a surlódási szögénél. Kísérleteinknél $\gamma - 90^\circ = 19^\circ$ volt, ezért a surlódást nem vettük számításba. Alkalmazott képletünk tehát:

$$Q_{\lambda_{\max}} = \delta b \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 Z_b^3} \right) \sqrt{Z_b} q_{\max} \left[\frac{1 + \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg}(\gamma - 90^\circ)}{\cos^2(\gamma - 90^\circ)} \right]. \quad (137/a)$$



66. ábra.

A kaparásnál érvényesülő alakváltozások és azok irányvonalai.

(A 66. V. ábra pótolja a hibás 60. VI. ábrát.)

A 66. ábrából — amely a kaparásnál képződött forgácsot és a megmunkált felületet mutatja — kitűnik, hogy a forgács mindkét irányú mérete lassan bár, de folyton nő, és hogy a külső erő deformáló hatása fokozatosan nagyobb és nagyobb darabra terjed ki, miért is a külső erő nem állapodhatik meg valamely maximumnál, hanem tovább nő, amint ezt a 67. I., II. ábrák is mutatják. Hogy a külső erő növekedésének törvényszerűségét a megtett s út függvényében meghatározhatassuk, az erőt (Q) az $\frac{s}{\delta}$

viszony függvényében logaritmikus koordináta-rendszerben jelöltük meg. Ez eljárással egyenest ábrázoló pontsorozatot kaptunk, miért is ez értékek képlete:

$$\log \left(\frac{Q}{Q_0} \right) = x \cdot \log \left(\frac{s}{\delta} \right),$$

vagyis:

$$Q = Q_0 \left(\frac{s}{\delta} \right)^x. \quad (138)$$

Az x hatványkitevő értéke a kísérletek alapján: 0,33. Mint-hogy e hatványkitevő a $\gamma - 90^\circ$ szög növekedésével nő, ez annak függvényében is kifejezhető. Kísérleteink szerint

$$x = \operatorname{tg}(\gamma - 90^\circ).$$

Ezek után kerestük még azt az összefüggést is, amely a 138. képletben előforduló Q_0 és a 137/a. képlettel kifejezett $Q_{\lambda_{max}}$ között fennáll, úgy találtuk, hogy

$$Q_0 = Q_{\lambda_{max}} \left(\frac{1}{7 \lambda_{max}^2} \right) \operatorname{tg}(\gamma - 90^\circ),$$

miért is a 138. képlet így írható:

$$Q = Q_{\lambda_{max}} \left(\frac{s}{7 \lambda_{max}^2 \delta} \right) \operatorname{tg}(\gamma - 90^\circ), \quad (138/a.)$$

e képletbe a 137/a. képlet értékeit behelyettesítve:

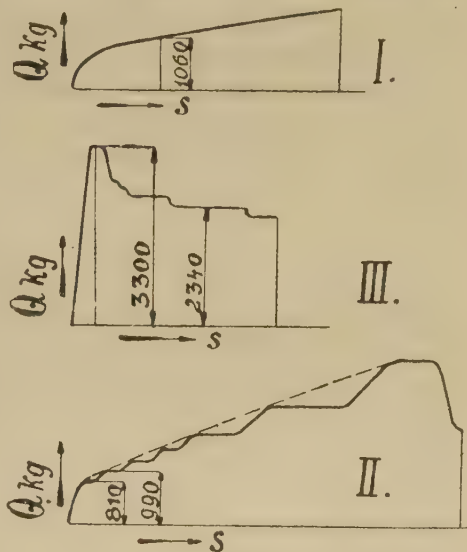
$$Q = \delta b \sqrt{1 + \lambda_{max}} \left(1 + \frac{\lambda_{max}}{4 z b^3} \right) \sqrt{z b} q_{max} \left[\frac{1 + \operatorname{ctg}^2 \gamma \cdot \operatorname{tg}(\gamma - 90^\circ)}{\cos^2(\gamma - 90^\circ)} \right] \left(\frac{s}{7 \lambda_{max}^2 \delta} \right) \operatorname{tg}(\gamma - 90^\circ). \quad (138/b.)$$

Ebből már most következik, hogy akkor lesz $Q = Q_{\lambda_{max}}$,

$$\text{ha } s = 7 \lambda_{max}^2 \delta = s_{\lambda_{max}}. \quad (139.)$$

E képlet útmutatása szerint az anyag alakváltozása az $s_{\lambda_{max}}$ eléréséig szívsós, miért is e határon belül az erő folyton nő, annak valamely közbeeső értékét megkapjuk, ha a 138/b. képletben a λ_{max} és q_{max} helyett a megfelelő λ és q értékeket helyettesítjük. Az $s_{\lambda_{max}}$ határáig a megmunkált felület minden anyagnál síma, de amint a deformálás a λ_{max} és q_{max} határát túllépi, az alakváltozás képlékeny, s ekkor a külső erő görbéje csak ólomnál és ónnál egyenletes (l. a 67. I. ábrát). Ezeknél tehát a megmunkált felület középső része továbbra is síma (l. a 66. III. ábrát), a folyasztott vasaknál és acélnál azonban az erő vonala lépcsőzetes (l. a 67. II. ábrát) és a megmunkált felület egyenlőtlen, azaz szakadásos (l. a 66. I. és II. ábrát).

Megfigyeléseink szerint a repedések mindig a szélektől indulnak ki, ennek oka az, hogy a szélek a 60. III. ábrán jelölt h komponens hatása következtében a h irányában és a szabad oldal felé deformálódnak és hogy a v komponens hatása következtében ugyanekkor a külső erő irányában és felfelé is kénytelenek deformálódni. Amint azonban a többirányú igénybevétel következtében a szemcse közötti kohézió legyőzetik, a szélek beropadnak. Megfigyeléseink szerint a XVIII. táblázatba foglalt összes anyagokból készült próbatest széle beropad, tehát az ón és ólom széle is, amint az a 66. III. és IV. ábrán látható. A 66. ábrából azonban



67. ábra.

A kaparó erő ábrái.

az is kitűnik, hogy az ólom és ón megmunkált felületének közepe síma, holott a folyasztott vasfajták mindenikénél a repedések az egész felületre kiterjednek. Az ólom és ón megmunkált felületének símasága ez anyagoknak a bemetszett rudak húzásánál ismertetett tulajdonságaival magyarázható meg. A 9. ábrán ugyanis jól látható, hogy a bemetszés helyén a repedés nem halad tovább, hanem az oldalfalak deformálódnak. *)

A berepedés nemcsak a felület símaságát, hanem az erő nagyságát is befolyásolja. Az oly anyagoknál, amelyek végig repednek, a 138/b. képletünk nem is adja meg az erő mindenkori értékét, hanem csak a lépcsős diagramm külső burkoló görbéjének várható alakját. (l. a 67. II. ábra pontozott vonalát). Annak igazolására, hogy a 138/b. képletünk eredményei a kísérleti értékekkel jól megegyeznek, a XVIII. táblázatot közöljük. E táblázatba az öntöttvas eredményeit is befoglaltuk. Minthogy az öntöttvas anyaga rideg, forgácsa folyton berepedezik, de ugyanakkor a h komponens nyomása következtében bereped a tárgy széle is, azért a megmunkált felület egyenlőtlen. Az öntöttvasnál szükséges kaparóerő változását a 67. III. ábra mutatja. Ebből kitűnik, hogy kezdetben hirtelen emelkedik az erő, aztán kissé leszáll, és állandó értéket mutat.

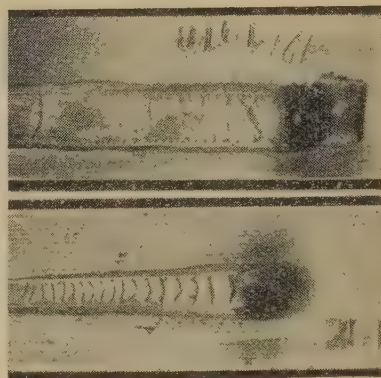
*) Az ólomnak és ónnak ama tulajdonságaiból, hogy igen nagy mértékben kontrahál, arra következtettünk, hogy képlékenysége igen nagy, miért is jellemző tulajdonságainak közlésekor megjegyeztük, hogy kontrakciója alapján $k > 4$. Ámde, ha ez anyagoknak képlékenysége ekkora volna, akkor szemcse közötti kohéziójuk ($\pi_1 = (k + 1) \cdot p_e$) is igen nagy értékű volna, ez pedig sehogy sincs összhangban a széleknek előbb említett berepedésével. A szemcse közötti kohéziót húzással nem tudtuk meghatározni, azonban a 109. pont szerint a váltakozó irányú hajlításokkal ez lehetséges, tehát ez eljárással határoztuk meg a kaparás műveletéhez használt és a XVIII. táblázatba foglalt összes anyagok képlékenységi fokát. A nyert eredményeket k_{haj} jelzéssel a XVIII. táblázatba foglaltuk. Ebből kitűnik, hogy a folyasztott vasfajtáknál ez új számérték a bemetszéssel és a kontrakcióval megállapított számértékek szélső határai közé esik, az ólomnál és ónnál azonban ez a számérték lényegesen kisebb a kontrakcióból számítottnál és majdnem csak akkora, mint a jobb folyasztott vasaknál, t. i. ólomnál $k_{haj,t} = 1,2$, az ónnál pedig $k_{haj,i} = 1,6$. Minthogy a váltakozó irányú hajlításoknál az állandóan húzásra igénybevett részt a 44. s 45. ábra szerint a szélső szálaknak a veszélyes keresztmetszetbe eső részei határolják, ennél fogva ezekben jóformán csak egy szemcse van húzva, miért is ott a szemcse közötti kohézió győzik le. Tekintetbe véve, hogy ez eljárás az ólom- és az ónra kis értékeket adott, így ezzel a szélek berepedése magyarázatot nyert. Hogy azonban e csekély szemcse közötti kohézió dacára az ólom és ón oly nagy mértékben kontrahálni képes, annak oka ez anyagok következő tulajdonságaiban rejlik: Az ólomnál és ónnál a kohézió körzete jóval alatta fekszik a p_r változását jelző hiperbola csúspontjának (l. az 1. III. és a 6. III. ábrákat). Az ilyen anyagoknál a p_e , p_{max} , π_1 és π közötti különbség csekély, ennél fogva a szemcseközötti kohézió és a p_r közötti viszony nem lehet nagy. Ámde a 25. pontban kifejtettük, hogy ikerkristályok is képződhetnek, ez pedig igazolja azt, hogy a maradandó alakváltozás létrejöttéhez nem kell akkora ritkítás, hogy az elmozdult molekulák súlypontjai egy osztással tovább jussanak, más szóval a maradandó alakváltozáskor a feszültség a szemcse közötti kohéziót el nem éri. Ez az oka annak, hogy oly esetben, amikor a csoportok elcsúszása érvényesülhet, az ólom és az ón az elforgatás következtében akkora kontrakciót érhet el, mint az olyan anyag, amelynek képlékenysége négynél nagyobb, holott, ha az elcsúszás végbe nem mehet, amint ez a hajtogatásoknál előfordul, akkor a feszültség a szemcse közötti kohézióig nőhet, de ekkor a tárgy bereped.

XVIII. táblázat.

Az anyag száma és jellemző adatai		b mm	δ mm	Δ mm ²	z_b	s mm	$\frac{s}{7\lambda_{max}^2\delta}$	A kaparóerő értékei	
								Q	kg
								számított	kísérleti
Képlékeny	Ólom:								
	$q_e = 2,62, \quad \lambda_{e(q)} = 0,15,$	13,8	6,75	93	~ 1	1,89	1	418	400
	$q_{max} = 2,68, \quad \lambda_{max} = 0,20,$					10	5,3	726	920
	$k_{kontr.} > 4, \quad tg^2 \beta_e = 1,3,$					25	13,2	985	1210
	$k_{hajt.} = 1,2$								
Rideg	Ón:								
	$q_e = 4,04, \quad \lambda_{e(q)} = 0,20,$	13,85	7,7	106,5	~ 1	8,6	1	876	882
	$q_{max} = 4,35, \quad \lambda_{max} = 0,40,$					15	1,745	1050	1050
	$k_{kontr.} > 4, \quad tg^2 \beta_e = 1,42,$					25	2,9	1245	1210
	$k_{hajt.} = 1,6$								
Korlátoltan szívós és képlékeny	316. öntöttvas:								
	$q_e = q_{max} = 61,2 \sim 74$	10	2	20	1,184	0	1	2130	2580
	$tg^2 \beta = 3,6$								
	186. folytvas:								
	$q_e = 49, \quad \lambda_e = 0,215,$	9,8	1,4	13,7	1,31	6,3	1	2420	2400
	$q_{max} = 67, \quad \lambda_{max} = 1 \sim 0,80,$					15	2,38	3230	3550
	$k_{p0} = 0,97 \sim 1,33,$					20	3,18	3560	3860
	$k_{hajt.} = 1,230, \quad tg^2 \beta_e = 1,22$								
	251. folytvas:								
	$q_e = 51, \quad \lambda_e = 0,21,$	10	0,4	4,0	2,16	2,27	1	820	810
	$q_{max} = 67,4 \quad \lambda_{max} = 0,9,$					10	4,4	1345	1210
	$k_{p0} = 1,22 \sim 1,32,$					20	8,8	1690	1690
	$k_{hajt.} = 1,11, \quad tg^2 \beta_e = 1,3$								
	252. folytvas:								
	$q_e = 55,3, \quad \lambda_e = 0,20,$	9,8	0,8	7,85	1,60	2,74	1	1470	1310
	$q_{max} = 75, \quad \lambda_{max} = 0,7,$					10	3,65	2260	1970
	$k_{p0} = 0,56 \sim 1,4,$					20	7,3	2850	2500
	$k_{hajt.} = 1,04, \quad tg^2 \beta_e = 1,31$								
	264. acél:								
	$q_e = 62,9, \quad \lambda_e = 0,195,$	9,8	0,6	5,9	1,8	2,06	1	1300	1330
	$q_{max} = 83,6, \quad \lambda_{max} = 0,7,$					10	4,86	2200	2300
	$k_{p0} = 0,75 \sim 1,07,$					20	9,72	2770	2800
	$k_{hajt.} = 0,84, \quad tg^2 \beta = 1,23$								

ζ_1) A karcolás.

138. A 90° metszőszögű szerszámot eddig a 60. I. ábra szerint egyenes éllel láttuk el és élének hosszúságát nagyobbra vettük a tárgy szélességénél. A következőkben a 90° metszőszögű szerszámot kétféle alakban fogjuk használni. T. i. egyenes élét megtartva, annak hosszúságát a tárgy szélességénél kisebbre vesszük, vagy pedig élét le fogjuk gömbölyíteni. Ha az ilyen szerszám a tárgy szélétől távolabb fekvő felületrészeire hat, abba barázdát váj ki, miért is e műveletet *karcolásnak* mondjuk. Karcolásnál, a szerszám nyomóhatása alatt álló forgácsnak duzzadása a szerszám szimmetria-síkjában ép úgy megy végbe, mint az egyenes éllel való forgácsolásnál, ezért a nyomófelület növekedése is az előbb levezetett 130. képlet alapján már kifejezhető, de mert a forgács a barázda oldallapjai mentén a szomszédos anyagtól nyírással szabadítandó meg, ezért a karcoló erő két részből tevődik össze, t. i. a forgácsoló (Q_1) és a nyíró (Q_2) erőből.



68. ábra.

Folyasztott vas karcolásánál érvényesülő alakváltozások.

A forgácsoló erő a 130. képlet szerint a következő:

$$Q_1 = b \delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 z_b^3} \right) q_{\max} \sqrt{z_b} (1 + f \cdot \operatorname{tg}^2 \beta);$$

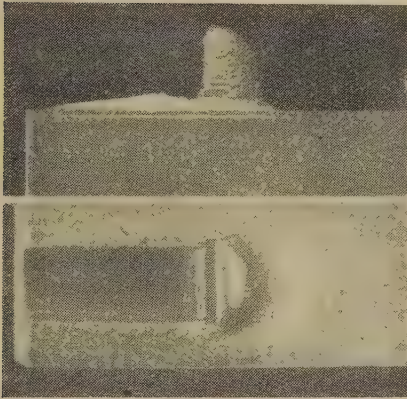
de mert a szélesség az oldallapok gátlása következtében nem nőhet szabadon, ezért e képletből az $\left(1 + \frac{\lambda_{\max}}{4 z_b^3} \right)$ tag kihagyandó és mert egyenes él esetén a 68. ábra szerint az oldalfalak jobbról-balról annyira kinyomódnak, hogy ennek következtében a barázda szélessége b értékétől fokozatosan $b + \frac{1}{3} \delta \operatorname{ctg} \beta = b \left(1 + \frac{\delta}{3 b \operatorname{tg} \beta} \right)$ nagyságra nő, a képletbe a kihagyott tag helyére $1 + \frac{\delta}{3 b \operatorname{tg} \beta}$ teendő, miért is a forgácsoláshoz szükséges erő képlete:

$$Q_1 = b \delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\delta}{3 b \operatorname{tg} \beta} \right) q_{\max} \sqrt{z_b} (1 + f \cdot \operatorname{tg}^2 \beta).$$

A nyíró erő a 70/b. képlet kétszeres értékével fejezhető ki. E képletet eddig így adtuk meg: $R = \frac{\delta b}{1 + \lambda_e} q_e \operatorname{ctg} \beta \cdot \sin^2 \beta$. A mi esetünkben R helyett $\frac{Q_2}{2}$ írandó, b helyett pedig, ha a határvonalak egyenes irányukat meg-

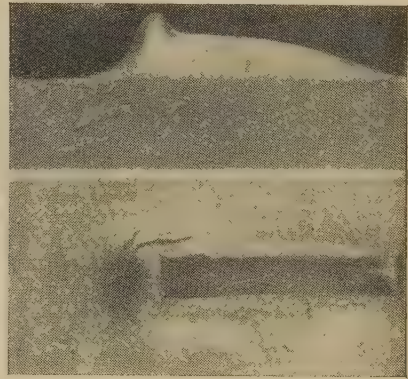
tartanak, $\delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}}$. $tg \beta$ hosszának fele volna veendő, de mert a hatásvonalak elgörbülnek, ezért ennek kétharmadrésze jön számításba, δ helyett pedig $\delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}}$ veendő, miért is a nyíráshoz szükséges erő képlete:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 2 \delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \cdot \frac{2}{3} \delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \cdot tg \beta \frac{q_e}{1 + \lambda_e} \cdot ctg \beta \sin^2 \beta = \\ &= \delta^2 \frac{1 + \lambda_{\max}}{1 + \lambda_e} \cdot 1,33 \cdot q_e \sin^2 \beta. \end{aligned}$$



69. ábra.

Ólom karolásánál érvényesülő alakváltozások.



70. ábra.

Ón karolásánál érvényesülő alakváltozások.

Minthogy a karcoló erő maximuma $Q_{\max} = Q_1 + Q_2$, így ez kellő rendezés után a következő alakot nyeri:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\max} &= b \delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\delta}{3b tg \beta} \right) q_{\max} \sqrt{z_b} (1 + f \cdot tg^2 \beta) \\ &\cdot \left[1 + 1,33 \frac{\delta q_e \sin^2 \beta \sqrt{1 + \lambda_{\max}}}{b q_{\max} \sqrt{z_b} (1 + \lambda_e) \left(1 + \frac{\delta}{3b tg \beta} \right) (1 + f \cdot tg^2 \beta)} \right] \end{aligned} \right\} \quad (140).$$

Legömbölyített, vagyis V alakú élnél a barázda szélesbedése lassúbb és az oldalfalak inkább a magasság irányában deformálódnak, amint az a 69. és 70. ábrákon jól látható. Az erő képletébe ezért a barázda szélességirányú növekedése csak félakkorára veendő, mint az egyenes élnél. A V alakú élre vonatkozó karcoló erő képlete tehát, ha a forgács keresztmetszetét Δ -val jelöljük, a következő:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\max} &= \Delta \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \left(1 + \frac{\delta}{6b tg \beta} \right) q_{\max} \sqrt{z_b} (1 + f \cdot tg^2 \beta) \\ &\cdot \left[1 + 1,33 \frac{\delta q_e \sin^2 \beta \sqrt{1 + \lambda_{\max}}}{b q_{\max} \sqrt{z_b} (1 + \lambda_e) \left(1 + \frac{\delta}{6b tg \beta} \right) (1 + f \cdot tg^2 \beta)} \right] \end{aligned} \right\} \quad (140/a).$$

XIX. táblázat.

Karcolás V alakú 90° metszőszögű szerszámmal										Karcolás □ alakú 90° metszőszögű szerszámmal											
Az anyag száma és jellemző adatai				b mm		z mm		Δ mm²		z _b		Q _{max} kg számított kísérleti		b mm		z mm		Δ mm²		Q _{max} kg számított kísérleti	
Ólom:	q _e = 2,62 q _{max} = 2,68	λ _{e(q)} = 0,15 λ _{max} = 0,20 tg² β _e = 1,3		7,1	15	106,4	1	1380	1120	9	11	61,1	1	374	410						
				13,8	8,3	114,5	1	880	790												
Ón:	q _e = 4,04 q _{max} = 4,35 p _e = 2,51	λ _{e(q)} = 0,20 λ _{max} = 0,40 λ _{e(p)} = 0,1 tg² β _e = 1,42		7,1	12,9	91,6	1	1730	1400	9	11	61,1	1	670	646						
				13,8	7,6	105	1	970	1330												
316. öntöttvas:	q _{max} = 61,2 ~ 74 tg² β = 3,6			3,4	1,66	5,65	1	700	655	6,4	5	22,4	1	3020	2962						
				6,8	2,3	15,6	1,05	1760	1700												
186. folytvas:	q _e = 49 q _{max} = 67	λ _e = 0,215 λ _{max} = 1 ~ 0,8 tg² β _e = 1,22		3,4	1,1	3,74	1,06	530	604	5	2,5	9,8	1	1450	1400						
				6,9	1,7	11,7	1,12	1600	2380												
251. folytvas:	q _e = 51 q _{max} = 67,4	λ _e = 0,21 λ _{max} = 0,9 tg² β = 1,3		3,4	1,6	5,43	1	810	870	5	2,5	9,8	1	1440	1208						
				6,7	1,6	10,7	1,13	1450	1570												
252. folytvas:	q _e = 55,3 q _{max} = 75	λ _e = 0,20 λ _{max} = 0,7 tg² β _e = 1,31		3,4	2,2	7,48	1	1310	1260	5	2,5	9,8	1	1450	1465						
				6,7	2,2	14,8	1,058	2150	2300												
264. acél:	q _e = 62,9 q _{max} = 83,6	λ _e = 0,195 λ _{max} = 0,7 tg² β = 1,23		3,4	2,0	6,8	1	1250	1150	5	2,5	9,8	1	1620	1388						
				6,7	1,45	9,72	1,157	1500	1640												

Az erő változásának törvényszerűségére megjegyezzük, hogy a 140. és a 140/a. képletekkel megadott határig az erő vonala domború, itt azonban inflexiót nyer, aztán ismét domború. A diagramm ez alakjánál fogva a számított értékeket az inflexió pontnál talált kísérleti értékekkel hasonlítjuk össze. Ez értékek, amint a XIX. táblázatból kitűnik, megegyezők.

b) A tér több irányában ható aktív erők.

α) Kétirányú erők.

α_1) Belső nyomással terhelt csövek.

139. Többirányú erők hatását már a 31—35. pontokban figyelembe vettük s ott arra az eredményre jutottunk, hogy a palástra ható sugárirányú külső (q_k) nyomófeszültség oly alakváltozást okoz, mint a homloklapra alkalmazott tengelyirányú (p_t) húzófeszültség, miért is ezek hatás szempontjából akkor egyenértékűek, ha

$$p_t = q_k \operatorname{ctg}^2 \beta,$$

s mert a palástra ható p_k húzófeszültség oly alakváltozást okoz, mint a tengelyirányú q_t feszültség, ezért ezek akkor egyenértékűek, ha

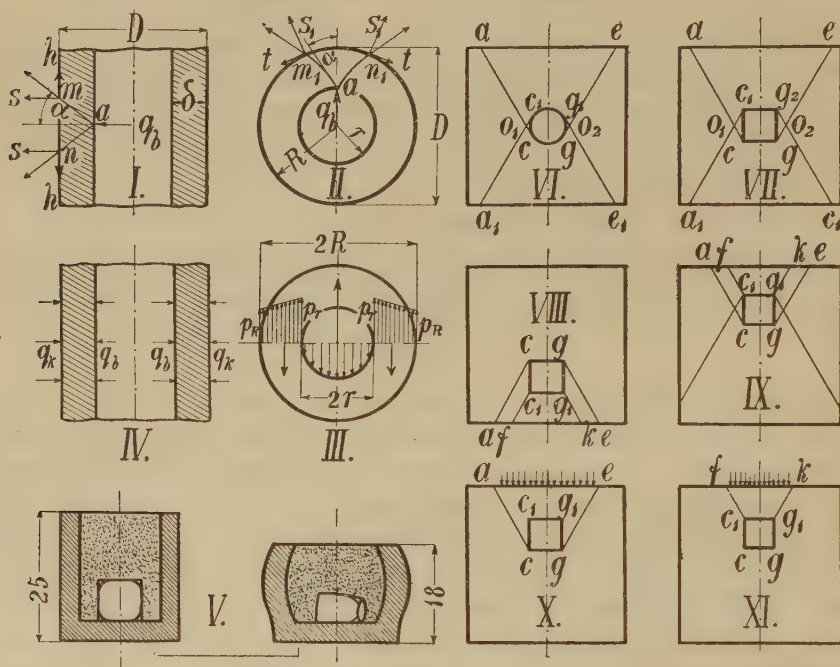
$$q_t = p_k \operatorname{tg}^2 \beta.$$

Minthogy tömör testeknél a palástra kétirányú húzóerőt nem tudunk kifejteni, ezért ez erők hatását csöveken vizsgáltuk. A köpenyre kétirányú húzóhatás ugyanis a cső belső falára ható hidraulikus nyomással vagy abba sajtolt kúppal érhető el. HARTMANN például kúposan kifűrt csőbe belső falához jól illő acélkúpot sajtolt, miért is a cső fala egész hosszában egyenletesen volt igénybe véve. Megfigyelése szerint a köpenyön oly spirális vonalú felszínrajzok képződtek, amelyek mentén a felszín behorpadt; a homloklapfelületen pedig logaritmikus vonal alakúak, amelyek mentén a homloklap a palást közelében behorpadt, a belső fal közelében pedig kidomborodott.

E jelenségekből következik, hogy a palást húzóhatás alatt állott, a belső fal pedig nyomás alatt.

Hogy a paláston spirális képződhetik, annak oka a következő: A cső belső falára ható nyomás sugárirányú lévén, hatása két fősíkban érvényesülhet, nevezetesen a tengelyirányú hosszanti metszet síkjában és a keresztmetszetben. A hosszanti metszetben (l. a 71. I. ábrát) az irányvonalak az erő irányával az α szöget alkotják s mert az erő iránya változatlan, ugyancsak változatlanul meg is tartják irányukat. Hogy az irányvonalak mentén végbemenő elmozdulásnak a palástra gyakorolt hatását szemlélhetővé tegyük, mozgásuk irányát a palást m és n pontjaiban a sugárirányú s -re és a reá merőleges h -ra kell bontanunk. Minthogy a h komponensek tengelyirányúak és egymástól távolodók,

húzóhatásuk a paláston oly felszínvonalakat létesít, amelyek az alkotóval β szöget zárnak be, a keresztmetszetben pedig az irányvonalak az erő irányával ugyancsak az α szöget alkotják s mert az erő iránya sugárirányú és az elmozdulások a sugárral alkotják az α szöget, ezért logaritmikus vonal alakúak. A logaritmikus vonalak irányában végbemenő elmozdulások hatását a palástra szemléltethetővé tehetjük, ha irányukat a palást m_1 és n_1 pontjában a sugárirányú s_1 -re és a tangenciális t -re bontjuk. Ekkor a 71. II. ábrából kitűnik, hogy az érintő irányú t komponensek szintén húzást fejtenek ki, még pedig az érintő irányában.



71. ábra.

Több irányú aktív erők hatásánál érvényesülő elmozdulások irányvonalai.

Az elmondottakból következik, hogy a belülről nyomott cső palástján kétféle spirális képződhetik; ámde ezek közül tényleg csak az egyik érvényesülhet, hogy melyik, azt a törés jelenségéből állapíthatjuk meg.

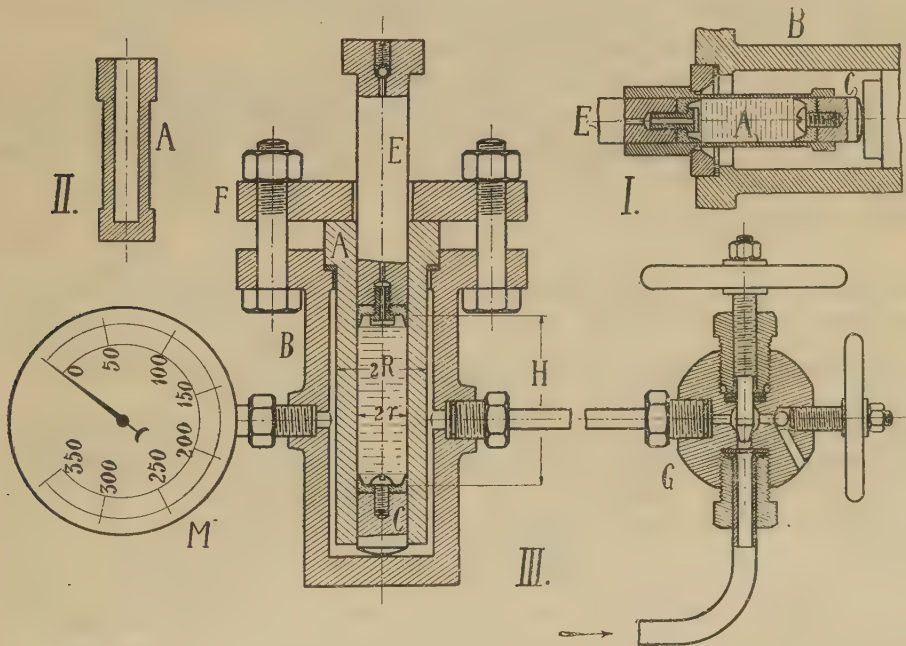
E célból rideg anyagból teljesen egyforma keresztmetszettel bíró, fenékkal ellátott, hosszú és rövid csövet készítettünk. A hosszabb cső hosszúsága a belső átmérőnek ötszöröse volt ($H=10r$), a rövid cső hosszúsága azonban alig érte el az átmérő méretét ($H=2r$). Belső hidraulikus nyomás folytán a hosszú cső mindig az alkotó irányában repedt, a kurta pedig a keresztmetszetben, jelölül annak, hogy kurta csöveknél a h , hosszú csőnél pedig a t komponens hatása érvényesül, miért is a hosszú csövek ellenállásának számításakor a belső nyomásnak t

irányába eső vetületét ($2rq_b$) kell az anyag feszültségével egyenletbe állítani, azaz:

$$2rq_b = 2\delta p_k, \text{ ebből: } q_b = p_k \frac{\delta}{r}. \quad (141.)$$

A törés jelenségeinek figyelembevételével tehát a kétirányú erők hatását egyirányúakkal helyettesíthetjük.

A 141. képletben a megváltozott méretek s az ezeknek megfelelő feszültség szerepel. Az utóbbi, ha a feszültségek az egész keresztmetszetben egyformák volnának, a húzófeszültség számértékével volna egyenlő,



72. ábra.

Csövek belső és külső nyomását kifejtő szerkezet vázlata.

de ha a külső és belső fal mentén a feszültség nem egyforma, akkor ez a feszültségek közepes értékével egyenlő. Annak meghatározására, hogy a feszültségek a belső és külső fal mentén miként változnak, szívós anyagokkal az alábbi kísérlet sorozatot végeztük.

A kétirányú erőhatást a cső belsejében kifejtett folyadéknyomással létesítettük, hogy azonban tisztán kétirányú erőhatást fejtsünk ki, a próbacsövet a fenéknymástól mentesítettük. Ezt a feladatot a 72. I. ábrán látható elrendezéssel oldottuk meg. Az A próbacsövet ugyanis felső karimájával a B alátámasztó edényre helyeztük, alsó nyílását pedig a bőrtömítéssel C dugattyúval zártuk el és hogy a hosszanti elmozdulásokat a cső szabadon végezhesse, a C dugattyút a B edény fenekére támaszt-

tottuk. A C dugattyú fölé aztán olajat öntöttünk, erre pedig a bőrtömítéssel E dugattyút helyeztük. Minthogy az E dugattyú behelyezésével az olaj fölött levegő záródott be, ennek kibocsájtására az E dugattyút golyóval elzárható furattal láttuk el. Az olaj összenyomásához szükséges külső erőt a nyomógép kénesőmanométerével mértük meg. Megfigyeléseink szerint a külső erő egyideig rohamosan nőtt, ezután kis ideig állandó maradt, sőt sok esetben kissé csökkent is, ezután pedig ismét nőtt, de lassabban, s végre egy bizonyos értéknél megállapodott, de ezt követőleg a cső el is tört, még pedig amint már említettük, az alkotó irányában. Az erő változásából következik, hogy a külső erő első megállapodása a folyás határát, a második az egyenletes nyúlás határát, a szakadás előtti csökkenése pedig a helyi kontrakciót jelzi.

Vastagfalú csöveknél az igénybevételt többször megszakítottuk, mindannyiszor lemértük a belső és külső átmérő változását s ekkor kitűnt, hogy a maximális erő beállta pillanatában a belső sugár minden vastagságú csőnél a húzásnál érvényesült egyenletes nyúlással egyezett meg, vagyis hogy

$$r_e = r(1 + \lambda_e), \quad (142.)$$

a külső sugár azonban minden vastagságú csőnél más és más méretváltozást mutatott. Ezért meg kellett határoznunk a belső és külső átmérő fajlagos méretváltozása viszonyának $\left(\frac{\lambda_r}{\lambda_R}\right)$ a méretektől való függetlenségét. E feladatunkat azon észlelet alapján oldottuk meg, hogy hosszú csöveknél a cső hossza a szívósság határáig végzett alakváltozásnál alig változik, amiből következik, hogy a szívósság határáig a cső keresztmetszete állandó, vagyis hogy:

$$R^2 - r^2 = R_1^2 - r_1^2. \quad (143.)$$

Ha a megváltozott sugarakat fajlagos méretnövekedésükkel fejezzük ki:

$$R^2 - r^2 = R^2(1 + \lambda_R)^2 - r^2(1 + \lambda_r)^2$$

s ha ezt rendezzük s a fajlagos nyúlás négyzetes tagjait elhanyagoljuk, kapjuk, hogy:

$$\lambda_R = \lambda_r \left(\frac{r}{R} \right)^2. \quad (144.)$$

A 143. képlet segítségével a falvastagság csökkenését is meghatározhatjuk. E képletet ugyanis így is írhatjuk:

$$(R + r)(R - r) = (R_1 + r_1)(R_1 - r_1),$$

$$\text{vagy} \quad (R + r)\delta = [R(1 + \lambda_R) + r(1 + \lambda_r)]\delta(1 - \epsilon);$$

ebből kapjuk, hogy:

$$1 - \epsilon = \frac{1}{1 + \lambda_r \frac{r}{R}}, \quad \text{vagy} \quad (1 - \epsilon_e) = \frac{1}{1 + \lambda_e \frac{r}{R}}. \quad (145.)$$

Minthogy a 144. képlet szerint a cső falában végbemenő megnyúlások a sugárral másodfokú viszonyban állanak, vagyis $\frac{r}{R} = \sqrt{\frac{\lambda_R}{\lambda_r}}$, így az erőelosztás lineáris, tehát

$$p_k = \frac{p_r + p_R}{2}. \quad (146.)$$

Az előbbieket szerint $p_r = p_e$, de p_R értékét még nem ismerjük, ámde a 24. képlet szerint

$$\frac{p_r - p_a}{p_e - p_a} = \sqrt{\frac{\lambda_r}{\lambda_e}} \text{ és } \frac{p_R - p_a}{p_e - p_a} = \sqrt{\frac{\lambda_R}{\lambda_e}},$$

ennélfogva:

$$\frac{p_r - p_a}{p_R - p_a} = \sqrt{\frac{\lambda_r}{\lambda_R}} = \frac{R}{r}. \quad (147.)$$

Ebből már most p_R kifejezhető:

$$p_R = (p_r - p_a) \frac{r}{R} + p_a. \quad (147/a.)$$

Ezt az értéket a 146. képletbe helyettesítve az eredmény a következő:

$$p_k = \frac{1}{2} \left(p_r + p_r \frac{r}{R} - p_a \frac{r}{R} + p_a \right) = \frac{1}{2} \left[p_r \left(1 + \frac{r}{R} \right) + p_a \left(1 - \frac{r}{R} \right) \right] \quad (146/a.)$$

és a szívósság határánál:

$$p_{k,e} = \frac{1}{2} \left[p_a \left(1 - \frac{r}{R} \right) + p_e \left(1 + \frac{r}{R} \right) \right]. \quad (146/b.)$$

E képlet szerint igen vékony csövek esetén, vagyis ha $\frac{r}{R}$ közel áll az egységhez, a p_k is közel azonos a p_e értékkel, vastagfalú csöveknél azonban a p_k lényegesen kisebb p_e -nél, ilyeneknél tehát az anyag hasznosítása csekélyebb.

A feszültségeket és az alakváltozásokat ismerve, a 141. képletet a szívós és a rideg anyagokra érvényes formában így írhatjuk. Szívós anyagoknál ugyanis a legnagyobb belső nyomás:

$$q_{b,max} = p_k \frac{\delta_e}{r_e} = \frac{1}{2} \left[p_a \left(1 - \frac{r}{R} \right) + p_e \left(1 + \frac{r}{R} \right) \right] \frac{\delta}{r} \frac{1 - \varepsilon}{1 + \lambda_e},$$

vagy:

$$q_{b,max}^{a:m} = \frac{1}{2} \left[p_a \left(1 - \frac{r}{R} \right) + p_e \left(1 + \frac{r}{R} \right) \right] \frac{\delta}{r} \frac{100}{\left(1 + \lambda_e \frac{r}{R} \right) (1 + \lambda_e)}. \quad (148.)$$

Rideg anyagoknál r és δ állandó, a rugalmas feszültségek pedig, mert a sugárirányú erők csak rugalmas sűrítést okoznak, a cső falában a sugár növekedésével csökkeni kénytelenek, minthogy hatásuk fokozatosan több s több csoportra terjed ki. De mert a 3. pont szerint a szekundér hatások a primér hatásokkal arányosak, ezért a cső falában a tangenciális feszültségek is csökkennek a sugár növekedése arányában.

XX. táblázat.

Az anyag száma és jellemző adatai	Méretek mm-ben				Külső nyomás kg/cm ²	$Q_{kls.}^*)$ kg	q_{kg/cm^2}		Megjegyzés
	D	d	δ	H			számított	kísérleti	
587. sz. antimónos kemény ólom ($Pb = 87,24, Sb = 12,33,$ $Cu = 0,43^0,0$) $\pi_1 = 5,72 \text{ kg/mm}^2$ $q_{max} = 8,96 \sim 9,1 \text{ kg/mm}^2$	24	20	2	50	1	410	110	130	Alkotó irányában repedtek.
	28	20	4	50	1	650	201	207	
	32	20	6	50	1	1000	285	318	
	36	20	8	50	1	1200	360	382	
	40	20	10	50	1	1350	425	430	
	36	20	8	10	1	920	—	293	Zárt, rövid csövek. Keresztirány- ban repedtek.
	40	20	10	10	1	1400	—	445	
	24	20	2	50	50	420	160	133	Külső és belső nyomású csövek. Alkotó irányában repedtek.
	28	20	4	50	160	1140	361	363	
	32	20	6	50	200	1660	485	530	
	36	20	8	50	150 ~ 250	2000 ~ 2200	610	637 ~ 700	
	40	20	10	50	250	2130	675	678	
588. sz. öntöttvas : $\pi_1 = 21,3 \sim 23,2 \text{ kg/mm}^2$ $q_{max} = 78,5 \sim 80,7 \text{ kg/mm}^2$	24,02	20	2,01	50	1	1540	406 ~ 440	490	Két alkotó irányában repedtek.
	26,06	20	3,03	50	1	1700 1900	555 ~ 610	540 605	
	28,05	20	4,02	50	1	2800	720 ~ 770	890	
	30	20	5	50	1	3500 4250	920 ~ 1010	1114 1350	
589. sz. folyasztott vas : $p_e = 44,9 \text{ kg/mm}^2$ $\lambda_e = 0,22$ $q_e = 55,5 \text{ kg/mm}^2$ $tg^2 \beta_e = 1,24$ $k = 1,08 \sim 1,33$	21,08	20	0,54	50	1	560	162	178	Alkotó irányában repedtek.
	22,08	20	1,04	50	1	1080	310	344	
	24,08	20	2,04	50	1	2080	602	662	
	26,09	20	3,04	50	1	3100	902	987	
	28,06	20	4,03	50	1	3750	1180	1193	
	26,03	20	3,01	50	1	2900	943	923	Zárt cső. Alkotó irányá- ban repedt.
519. sz. folyasztott vas : $p_e = 50,2 \sim 50,5 \text{ kg/mm}^2$ $\lambda_e = 0,20$ $q_e = 61,3 \text{ kg/mm}^2$ $tg^2 \beta_e = 1,214 \sim 1,22$ $k = 0,97 \sim 1,33$	26,06	20	3,03	134	1	2900	1020	923	A törés még nem következett be.
	32,06	20	6,03	134	1	5800	1970	1846	A törés még nem következett be.
	40,06	20	10,03	134	1	8400	3180	2674	Alkotó irányá- ban repedt.

*) A Q erő a 72. III. ábra szerint az E jelű dugattyúra hatott.

Feltehetjük tehát, hogy

$$\frac{p_R}{p_r} = \frac{r}{R},$$

ezért a 146. képlet szerint

$$p_k = \frac{1}{2} \left(p_r + p_r \frac{r}{R} \right);$$

ámde $p_r = \pi_1$, így

$$p_k = \frac{1}{2} \pi_1 \left(1 + \frac{r}{R} \right).$$

Ezt a 141. képletbe helyettesítve:

$$q_{b, \max}^{\text{at}} = \frac{1}{2} \pi_1 \left(1 + \frac{r}{R} \right) \frac{\delta}{r} 100. \quad (148/a.)$$

Képleteink rideg és szívós anyagból készült vékony és vastagfalú csövekre egyaránt oly számértékeket adnak, amelyek a kísérleti értékekkel jól megegyeznek, amint azt a XX. táblázat mutatja.

β_1) *Belső és külső nyomással terhelt csövek.*

140. A cső belső és külső falára a 72. III. ábrán látott elrendezéssel fejtettük ki a nyomást. Az *A* próbacsövet most is a *B* edény peremére helyeztük, de ez esetben tömítőanyagot is tettünk a támaszkodó felületek közé s ezt az *F* csavarral kellőleg összenyomtuk. A cső belső falára a nyomást az előbbi pontban leírt módon fejtettük ki, a cső külső falára pedig azáltal, hogy a *B* edényt a *G* szelep útján az olajakkumulátorral kapcsoltuk össze. A *B* edényre manométert is szereltünk. Minthogy a külső falra gyakorolt nyomást lehetőleg állandósítani törekedtünk s mert a próbacső alakváltozása következtében a külső falra gyakorolt nyomás megváltozott, ezért a nyomás szabályozása céljából a *G* szelepbe golyóval elzárható kibocsájtó lyukat is fűrtünk.

Ez elrendezéssel a nyomást 10~15 atmoszféra ingadozással fenn tudtuk tartani. A kísérleti eredményeket a XX. táblázatba foglaltuk.

Állapítsuk meg már most, hogy a külső falra gyakorolt nyomás mennyiben befolyásolja a belső falra gyakorolt nyomást.

Minthogy a hosszanti metszetben ábrázolt fősíkban (l. a 71. IV. ábrát) a belső és a külső falra gyakorolt nyomások egyenlő irányúak, de ellenkező értelműek, így ezek, amennyiben nem egyforma nagyságúak, a kisebbik erejéig *rendes nyomásra veszik igénybe a cső falát*. Feltéve, hogy $q_b > q_k$, a különbség ($q_b - q_k$) az előbbi pontban tárgyalt belső nyomást végzi. Ha a $q_k < q_f$, akkor a csőfal összenyomása maradandó alakváltozást nem okoz, miért is a cső elszakítására a 148. képlet szerint a $q_{\max}$ -mal egyenlő nyomás-különbség kell,

$$\begin{aligned} \text{azaz:} \quad & q'_{b \max} - q_k = q_{b \max}, \\ \text{vagyis:} \quad & q'_{b \max} = q_{b \max} + q_k. \end{aligned} \quad (149.)$$

A cső ellenállása tehát ez esetben a külső köpenyre gyakorolt nyomás nagyságával nő. Kísérleteinknél $q_k < q_b$, tehát a 148. képletet használhattuk. E képlettel számított értékeket ugyancsak a XX. táblázatba foglaltuk, melyből képletünk helyessége kitűnik.

β) Háromirányú erők.

α₁) Tömör testre ható háromirányú nyomóerők.

141. A tér három irányában ható egyenlő nagyságú erő — ha az anyag nem tömöríthető — a 31—35. pontokban kifejtettek szerint csak a kohéziót növeli, de alakváltozást nem okoz. Ha azonban az egyik irányú erő, nevezetesen a tengelyirányú q_t nagyobb, mint a köpenyre ható q_k nyomás, akkor — mert minden oldalról csak q_k nyomás van — a kohézió csak q_k értékkel nő. A növekedett kohézió tehát $\pi_1 + q_k$. Ámde a q_k köpenynyomás a tengelynyomás deformáló hatását gátolja, miért is egy bizonyos alakváltozás létesítésére a rendes q nyomófeszültségen kívül a 15. számú képlet értelmében még $q_k tg^2 \beta$ feszültségtöbbletre lesz szükség, vagyis:

$$q_t = q + q_k tg^2 \beta. \quad (150.)$$

Az ilyen viszonyok között végbemenő alakváltozás jellege azonban lényegesen különbözik a rendes nyomásnál végbemenőtől. A háromirányú erőhatás folytán, amint már mondtuk, nő a kohézió s ez változtatja meg az alakváltozás jellegét. Rideg anyagoknál rendes viszonyok között $\pi_1 < p_f$, de ha palástnyomás folytán

$$\pi_1 + q_k > q_f, \quad (151.)$$

a rideg anyagok szívósakká válnak és ha

$$\pi_1 + q_k > q_e, \quad (151/a.)$$

a rideg anyagok képlékenyek lesznek.

Azt, hogy háromirányú erők hatása alatt a rideg anyagok alakíthatókká válnak, kísérletileg KICK bizonyította be először. Kísérleteit a 71. V. ábra szerint oly módon végezte, hogy az alakítandó próbatestet erős falú rézcsőben timsóba vagy stearinba ágyazta és a csöveket tartalmukkal együtt összesajtolta, mikor is a rideg anyag törés nélkül változtatta meg alakját. KICK e kísérleteinél a palástnyomást nem mérte, miért is eredményeit képleteink helyességének igazolására nem is használhatjuk. E célra azonban jól értékesíthetők DR. KÁRMÁN TÓDOR kísérletei,*) minthogy ő a palástnyomás nagyságát is mérte. Közleményeiben KÁRMÁN a q_k nyomáson kívül a töréskor észlelt $q_t - q_k$ különbséget

*) Lásd a Magyar Tud. Akadémia Mathematikai és Természettud. Értesítőjének 1915. évi XXXIII. évfolyamát.

is közli; ez adatokból mi a q_t értékeket kiszámítottuk. KÁRMÁN-nak a márványra és a homokkőre vonatkozó kísérleti értékeit a XXI. táblázatba foglaltuk.

XXI. táblázat.

Kísérlet jele	H o m o k k ő			M á r v á n y		
	kísérleti		számított	kísérleti		számított
	q_k	$q_t \max$	$q_t \max$	q_k	$q_t \max$	$q_t \max$
I	0	690	—	0	1360	—
II	280	2320	2744	235	2335	2205
III	555	3135	3211	500	3110	3000
IV	1550	4850	4903	685	3565	3555
V	2475	6475	6475	845	4055	4035
VI	—	—	—	1650	6450	6450
VII	—	—	—	2490	E kísérletek nem lettek a törésig folytatva.	8970
VIII	—	—	—	3266		11298

Hogy azonban ez adatokból a 7-ik képletben szereplő q és $tg^2\beta$ értékeket is meghatározhassuk, két kísérletnek eredményeit kell kiindulásul felvennünk. A 150-ik képlet szerint ugyanis:

$$q_t' = q + q_k' tg^2\beta$$

és

$$q_t'' = q + q_k'' tg^2\beta,$$

tehát

$$q_t' - q_t'' = (q_k' - q_k'') tg^2\beta,$$

ebből

$$tg^2\beta = \frac{q_t' - q_t''}{q_k' - q_k''} \quad (150/a.)$$

és

$$q = q_t' - q_k' tg^2\beta. \quad (150/b.)$$

A homokkőre vonatkozólag a IV. és V. sz. kísérletek eredményeit alapul véve, a 150/a. és a 150/b. képlet szerint

$$tg^2\beta = 1,7 \text{ és } q = 2268 \text{ kg/cm}^2.$$

E két adat segítségével a 150-ik képlet alapján a q_t értékeket a többi köpenynyomásokra vonatkozólag is kiszámítottuk. Számításaink eredményeit ugyancsak a XXI. táblázatba foglaltuk. A márványnál szintén a két legnagyobb köpenynyomást, t. i. az V. és VI. számú kísérleteket vettük figyelembe, az eredmény az lett, hogy: $tg^2\beta = 3$ és $q = 1509 \text{ kg/cm}^2$. Az ezekkel kiszámított q_t értékeket is a XXI. táblázatba foglaltuk.

E táblázatból kitűnik, hogy a törést okozó feszültségek kiszámított értékei mindkét anyagnál mindazon kísérleteknél jól egyeznek, amelyeknél

a növekedett szemcseközötti kohézió nagyobb volt az elmozduláshoz szükséges feszültségnél, vagyis akkor, ha

$$\pi_1 + q_k \equiv q \operatorname{ctg}^2 \beta.$$

A többirányú erők hatásával MOHR is részletesen foglalkozik. Ő a q_k köpenynyomást s a szükséges $q_t - q_k$ nyomáskülönbséget a 68. pontban ismertetett és a 19. III. ábrán látott módon ábrázolta. A MOHR által figyelembe vett $q_t - q_k$ különbség a 150. képletből kiindulva, így fejezhető ki:

$$q_t - q_k = q + q_k (\operatorname{tg}^2 \beta - 1) = q_k \left[\frac{q}{q_k} + \operatorname{tg}^2 \beta - 1 \right] = q_k \operatorname{tg}^2 \omega. \quad (152.)$$

Mint hogy e képlet szerint az általa felvett értékekből alkotott körök területének a $2\alpha \searrow$ alatt hajló sugár metszés-pontjához húzott érintő hajlásszögének tangense:

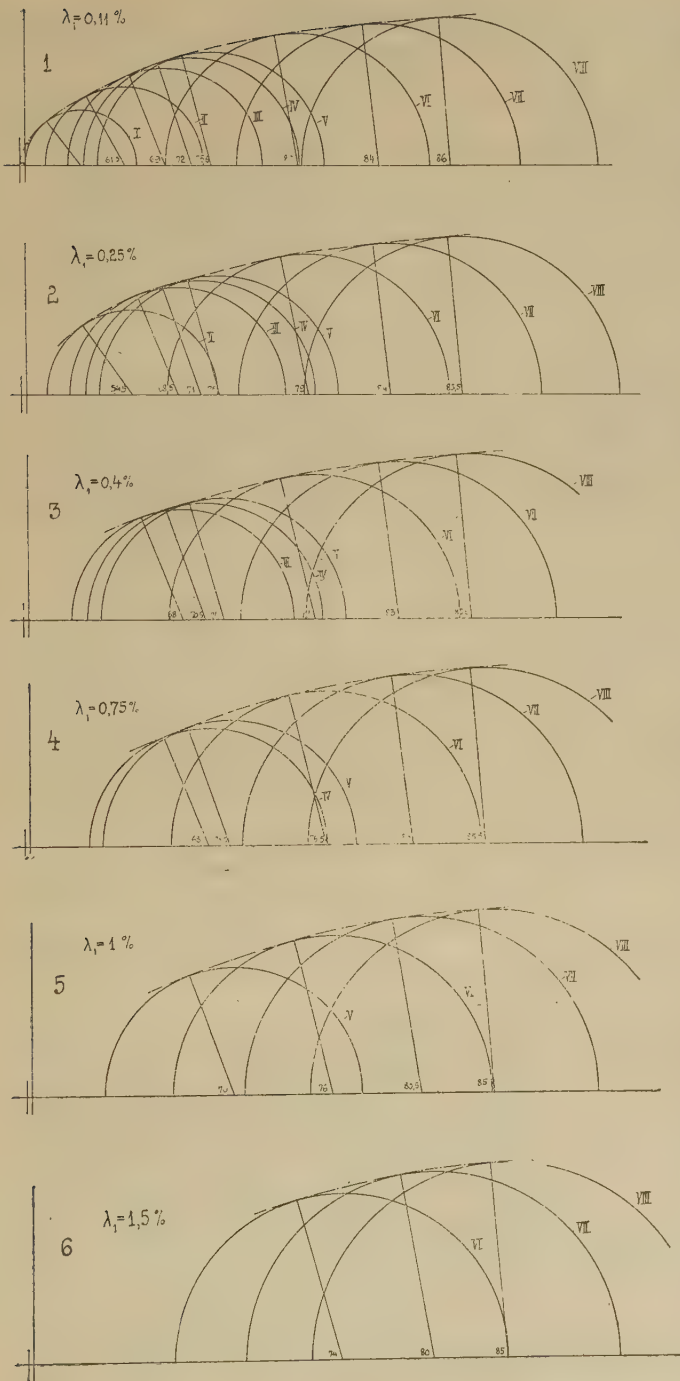
$$\operatorname{tg}^2 \omega = \frac{q}{q_k} + \operatorname{tg}^2 \beta - 1, \quad (152/a.)$$

következik, hogy q_k növekedésével az érintők hajlásszöge folyton csökken, miért is az érintési pontok sorozata burkoló görbét eredményez. E burkoló görbét MOHR a törést okozó feszültségekre ($q_t - q_k$) tartja jellemzőnek, de mert a 152. képletben szereplő q érték azonos szívós alakváltozáskor mindig azonos értékű, ezért a burkoló görbék az azonos méretnövelést okozó feszültségekre épügy érvényesek, mint a törést okozókra, amint azt a 73. ábracsoport igazolja.*)

β_1) Üreges tárgyra ható háromirányú nyomóerő.

142. A háromirányú erők üreges tárgyra való hatásának meghatározására agyaggal, szappannal és szürke vassal kísérleteztünk. E célból kockaalakú próbatesteket részint kör-, részint négyszögkeresztmetszetű

*) KÁRMÁN kísérleti eredményeit a 74. ábrán látott nyomóerő-ábrákkal tette szemléltethetővé. Ez ábrák ordinátái a $q_t - q_k = \sigma_1 - \sigma_2$ különbségeket, abszcisszái pedig a méretesökkenéseket jelzik. Ezeknél elsősorban kiküszöböltük a rugalmas alakváltozásokat, azután a 27. képlettel $\left[\frac{\partial}{\partial \lambda_1} (1 + \lambda_1)^2 \right]$ meghatároztuk az átmérő fajlagos méretnövekedését és ennek segítségével a 29. képlettel $\left(\frac{q_t - q_k}{(1 + \lambda_1)^2} - q_1 \right)$ a feszültséget. Ez értékekből szerkesztettük meg a 75. ábracsoportot, amelynek egy bizonyos abszcisszához tartozó ordinátái vannak a 73. ábracsoportban felhasználva. Ezekben a burkoló görbe kezdőpontja is meg van jelölve. Ezt a pontot rideg anyagnál a húzófeszültség adja meg. Húzásnál ugyanis a rideg anyag $2\alpha = 0^\circ$ szöget bezáró síkokban szakad el, ennél fogva a húzófeszültség köréhez a 2α szög alatt hajló sugár végpontjában húzott érintő érintési pontja az abszcissza-tengelyben van, amint az a 76. ábrán látható. Mint hogy pedig a burkoló görbe az érintők irányát követi, ennél fogva a húzófeszültségi körhöz vont érintőnek érintési pontja alkotja a burkoló görbe kezdőpontját. (L. a Magyar Anyagvizsgálók Közlönye 1916. évi 6. számát.)



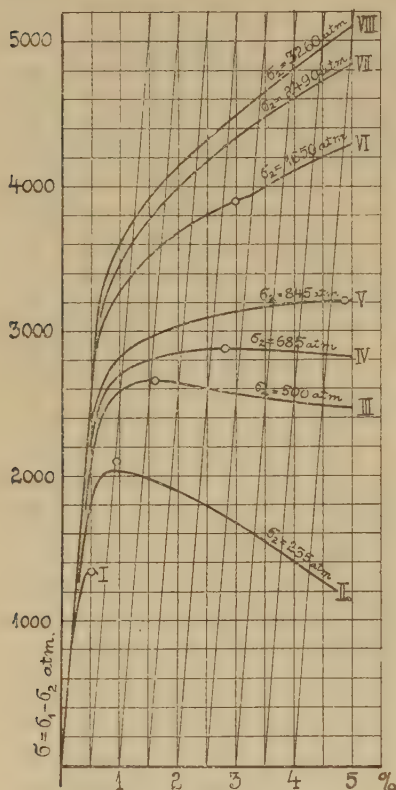
73. ábra.

Az azonos fajlagos méretnövekedéseket okozó feszültségek ábrázolása MOHR eljárása szerint.

furattal láttunk el, ezeket öt oldalról támasztottuk, a hatodik oldalukra pedig nyomóerőt működtettünk. Mint-hogy az alakváltozások jelenségei mind a három anyagnál ugyanazok voltak, az alábbiakban csak a szürkevaspróbatest alakváltozását ismertetjük.

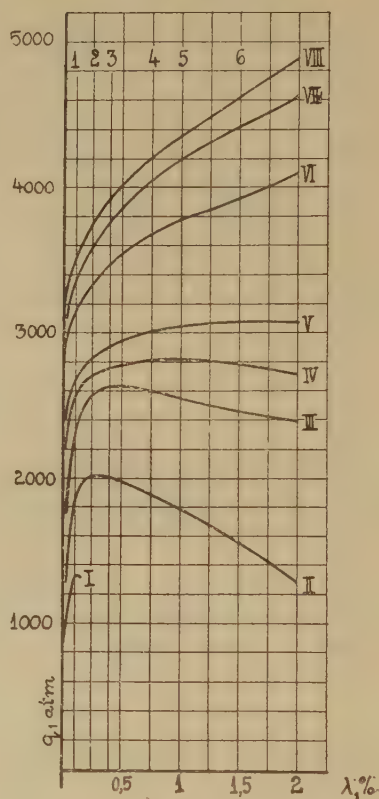
Háromirányú nyomás alatt ugyanis a kifűrt kocka a 71. VI. és VII. ábrákon jelzett ac és a_1c_1 stb. irányvonalak mentén repedt el, miközben a cc_1o_1 és a gg_1o_2 darabok kitöredeztek. Annak megállapítására, hogy az irányvonalak a háromirányú erők hatása következtében módosulnak-e, egynéhány tömör kockát rendszeres nyomással, azaz négy szabad lappal, egynéhányat pedig csak egy szabad lappal vettünk igénybe s mert mindkét esetben az irányvonalak hajlásszöge ugyanakkora volt, mint a három irányú erőhatásoknál, azért a következőkben a haj-

lásszöget befolyásolástól mentesnek vettük. Kísérleteztünk továbbá olyan kockákkal is, amelyekben a furatok excentrikusak voltak, úgy, amint azo-



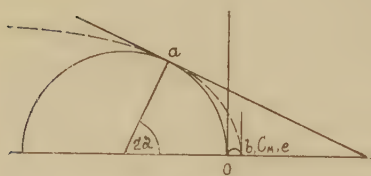
74. ábra.

A fajlagos erők ábrái KÁRMÁN kísérleti adatai szerint.



75. ábra.

A KÁRMÁN kísérleti adataiból kiszámított feszültségek ábrái.



76. ábra.

A MOHR-féle simuló görbéjének csúcspontja, rideg anyagnál.

71. X. ábra szerint csak az ac , vagy a XI. szerint csak az fk -ra működtettük. Ilyenkor a repedés az ac , illetőleg az fc_1 irányvonalak mentén indult meg.

*) E jelenséggel magyarázható az alagutak és bányák fenékemelkedése, azok bezáródása és az oldalfalaknak valamint a menyzeteknek esetleges elmozdulása.

kat a 70. VIII. és IX. ábrák mutatják. A kockákat úgy helyeztük el, hogy a furatok egyik kísérletnél az akcióhoz, egy másiknál pedig a reakcióhoz közelebb jussanak. Mindkét kísérletnél a repedés a furathoz közelebb eső oldallal felé mutató irányvonalakban indult meg.*) Végre olyan kísérleti sorozatot is végeztünk, amelynél a terhelést nem az egész felületre, hanem a

Minden kísérletnél meghatároztuk a szükséges nyomóerőt is. E számértékekből kitűnt, hogy a *nyomófeszültség arányos az irányvonalnak a nyomófelületre eső vetületének és a kocka szélességének szorzatával*, vagyis:

$$Q = 2 \overline{ac} \cdot \cos \beta \cdot b \cdot q. \quad (153.)$$

Ha a furatnak a felszíntől való távolságát H -val jelöljük: $H = ac \cdot \sin \beta$, s azt helyettesítjük a 153. képletbe, akkor:

$$Q = 2 H b \operatorname{ctg} \beta \cdot q. \quad (153/a.)$$

γ₁) Zárt csőre ható belső nyomás.

143. A zárt csőre ható belső nyomás (q_t) a 139. pontban tárgyalt esettől csak abban különbözik, hogy a belső nyomás (l. a 72. II. ábrát) a fenékre is hat és ezzel a cső keresztmetszetében p_t húzófeszültséget ébreszt, amelynek nagysága:

$$p_t = \frac{r^2 \pi \cdot q_b}{(R^2 - r^2) \pi}. \quad (154.)$$

Ámde a tengelyirányú húzófeszültség alakváltozás szempontjából csak az egyik irányban egyenértékű a palástra ható $p_t \operatorname{tg}^2 \beta$ nagyságú nyomófeszültséggel, ennél fogva ez csak $\sqrt{p_t \operatorname{tg}^2 \beta}$ résszel csökkenti a belső nyomás deformáló hatását, miért is ily esetben a belső nyomás, a fenék nyomás nélküli csőhöz képest, ezzel az értékkel növelhető, vagyis:

$$q'_b = q_b + \sqrt{p_t \operatorname{tg}^2 \beta}. \quad (155.)$$

A 155. képletünk ellenőrzése végett vastagfalú csövekkel kísérleteztünk. Eredményeinket a XX. táblázatba foglaltuk.

C) Nagysebességű erők.

a) A tér egy irányában ható, folytonosan növekedő nagy sebességű erők.

144. A lassan ható erők tárgyalásánál láttuk, hogy azok hatása lényegesen megváltozik aszerint, amint a próbatestnek csak egy irányában, vagy több irányában hatnak. Épen ezért külön vettük figyelembe a szabályos húzást és nyomást és külön a módosított nyomásokat. Mint-hogy nagysebességű erőknél a szomszédos anyagrészek gátlása okvetlenül befolyásolja az erők hatását, ezért a nagysebességű erők tárgyalásánál is külön fogjuk figyelembe venni a szabályos nyomást és húzást és külön a módosított nyomásokat.

Szabályos húzásnál az erő okozta deformáció sebességének az egész szakítás alatt állandónak kell maradnia. Ily viszonyok között csak a húzás kezdetén van hirtelen gyorsítás, de azután már nincs. Ha a deformáció kezdetétől egyelőre eitekintünk, a húzógép nagy sebességgel hajtott befogó

szerkezetének hatása abban nyilvánul, hogy a próbatest szemcséit rövidebb idő alatt orientálja. Ebből azonban következik, hogy a feszültség a sebesség növekedésével nő, mert a molekulák az idő egységében több szomszédjukkal ütköznek.

A sebességnek a feszültség növekedésére gyakorolt befolyását az irodalomban előforduló kísérleti adatokból fogjuk levezetni. E célra azonban csak azokat az adatokat vehetjük figyelembe, amelyek a próbatestnek az idő egységében előállott méretnövelésén, vagyis a megnyúlás sebességén (v_1) kívül az erő növekedését is közlik. Ily kísérleti eredmények ábráit LUDWIK bécsi műegyeми tanár közli először.*)

Ő arra az eredményre jutott, hogy abban az esetben, ha a húzó befogófej sebessége a szakító kísérlet alatt állandó, a maximális feszültség a fajlagos megnyúlás sebességének parabolikus függvénye és hogy e függvény a következő képlettel fejezhető ki:

$$p_1 = B + A v^{1/n}. \quad (156.)$$

A LUDWIK által közölt számértékeket logaritmikus koordináta-rendszerben ábráztunk s ekkor olyan pontokat kaptunk, amelyek igen jól helyettesíthetők egyenessel, ezért a függvény alakját így írhatjuk:

$$p_1 = A v_1^{1/n}. \quad (156/a.)$$

Ha pedig két különböző sebességnek megfelelő feszültségeit ismerjük, akkor a képlet alakja:

$$p_1 = p \left(\frac{v_1}{v} \right)^{1/n} \quad (157.)$$

Ónra vonatkozólag e hatvány-kitevő, LUDWIK kísérleti adatai alapján: $n = 12,5$.

Teljesen ugyanerre az eredményre jutottak dr. ROSENHAIN W. és HUMFREY W. angol kísérletezők.***) Ők ugyanis izzó vassal kísérleteztek, még pedig 0,012 másodpercenkénti fajlagos megnyúlásig s azt találták, hogy a maximális erő növekedése a nyúlássebesség függvényében parabolikus görbe természetű s hogy ennek képlete:

$$p_1 = A v^{\frac{1}{n}},$$

vagyis ugyanaz, amit az előbb levezettünk. A kísérletezők közlése szerint a kitevőben szereplő n érték 836 C°-nál $n = 4,6$ és 948 C°-nál $n = 6$. E határok között tehát középértékben $n = 5,5$. Kísérleteiknél az előbb közölték szerint a legnagyobb nyúlás sebessége percenként $v = 0,70$ volt, vagyis 100 mm hosszú rúd esetén a befogófej percenként 70 mm utat tett meg, holott a rendes szakítással 4 mm-t, azaz $v = 0,04$; a nagyobb sebes-

*) L. Physikalische Zeitschrift 1909-iki X. évfolyam, nov. 12. sz. 413. lap.

**) L. "The Journal of the Iron and Steel Institute" 1913. évf. LXXXVII. k. 244. lap.

séggel végzett kísérleteknél az izzó vas feszültségének képlete tehát, ha v_1 a percnkénti fajlagos megnyúlást jelenti, a következő:

$$p_1 = p \left(\frac{v_1}{0,04} \right)^{\frac{1}{5,5}}. \quad (157/a.)$$

Nevezett kísérletezők a feszültségnövekedésen kívül azt is észlelték, hogy az alakváltozás az 1010 C^0 -on végzett gyors húzásnál sokkal egyenletesebb, mint lassú húzásnál és hogy valamennyi hőfokon a húzó diagramm lemenő ága, a sebesség növekedtével, rövidül. Az eddig ismertett kísérleti adatokon kívül figyelembe vettük dr. MIKLÓSI KORNÉL kísérleti eredményét is.*) Ő fésűs és kártolt gyapjúsövetekkel kísérletezett, tehát oly anyagokkal, amelyek csak szívósan alakíthatók. Ő is ugyanarra az eredményre jutott, mint az előbb említett kutatók, vagyis, hogy a szövet szakító ereje (P) a percnkénti fajlagos megnyúlással, azaz a megnyúlás sebességével (v) a következő összefüggésben áll:

$$P_1 = P_2 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{1}{n}}.$$

Szerinte n értéke úgy a fésűs, mint a kártolt szövetekre egyaránt: $n = 25$. Megfigyelései szerint $100 \times 100\text{ mm}$ méretű próbadaraboknál a sebességnek a nyúlásra gyakorolt befolyása $v = 5$ pro perc esetén mérhető nem volt.

A felsorolt kísérleti eredményekből következik, hogy valamennyi anyag feszültsége a nyúlás sebességének növelésével nő, hogy ezek viszonya minden anyagnál a

$$p_1 = p_2 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

kifejezéssel jelezhető és hogy a kitevő értéke az anyagok sajátosságaitól függően változó.

Az irodalomban egyéb anyagokra következő n értékeket találtuk.

BARBA adatai szerint**) hideg állapotú folyasztott vasra vonatkozólag $n = 60$. LELOUTRE bőrrel végzett kísérletei szerint $n = 20$. Eszerint tehát n értékei a felsorolt anyagokra a következők:

Anyag	Hideg vas $t = 20\text{ C}^0$	Izzó vas $t = 900\text{ C}^0$	Ón $t = 20\text{ C}^0$	Szövet $t = 20\text{ C}^0$	Bőr $t = 20\text{ C}^0$
n	60	5,5	12,5	25	20

E néhány számadat azonban nem elegendő arra, hogy megállapíthassuk, vajjon az n értéke az anyag mely sajátosságaitól függ és ezeknek milyen

*) L. a Fonó-Szövő-Ipar 1917. évi X. és XI. számait.

**) BARBA, Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs Civils 1880. p. 710.

függvénye? Úgy látszik, hogy az n nemcsak az anyag keménységétől, hanem annak tömöríthetőségétől is függ. Nem tömöríthető hideg fémeknél $n = 10\sqrt{p_e}$ értékhez áll közel.

145. Szabályos nyomásnál a viszonyok teljesen ugyanazok lévén, mint húzásnál, ezért nagyobb sebesség esetén a hideg fémeknél a nyomófeszültség a lassú igénybevételekhez képest ($v_1 = 0,16$ pro perc, ha a tárgy magassága 25 mm) a következő képlettel kifejezhető értékig nő:

$$q_2 = q_1 \left(\frac{v_2}{0,16} \right)^{\frac{1}{10\sqrt{p_e}}} \quad (158.)$$

Izzó tárgyak alakításánál azonban a sebesség növekedése a 158. képlettel kifejezett hátrányon kívül némi előnnyel is járhat. A sebesség növekedésével ugyanis rövidül a tárgy lehűlésének ideje s mert az idő egységében végzett mechanikai munka nő, így az idő egységében fejlesztett kalóriák száma is nagyobb, a tárgy tehát magasabb hőfokra melegszik fel. Ámde magasabb hőfokon az izzó vas ellenállása rohamosabban csökken, mint ahogy azt a 158. képlet szerint a sebesség növeli s így végeredményében nagy sebesség esetén az izzó vas ellenállása kisebb.

A most kifejtett előnyön kívül vékony tárgyak alakítása még további előnnyel is jár. Vékony tárgyak nyomásánál ugyanis a tárgynak a szerszámmal érintkező felületén levő részei elmozdulnak. Ha az alakítást kis sebességgel végezzük, a tárgy a szerszámon lassan halad tovább, miért is anyaga a szerszám szemcse-közötti üregeibe behatolhat. Ily helyzetben e részecskék tovahaladásukban gátolva vannak, miért is a felület bereped. Ha azonban a szerszám sebességét növeljük, ezzel növeljük az érintkező felületek elmozdulását is s akkor nincs ideje az anyagnak a szerszám szemcse-közötti üregeibe teljes mértékben behatolni, ezért a tovahaladás ellen az ellenállás csekélyebb, miért is a tárgy repedés nélkül deformálódhatik.

KICK rézzel kísérletezett, de nem közli az alakváltozás sebességét, hanem csak az ütköző tömeg sebességét s úgy találta, hogy az 5–10 m perc sebességgel haladó tömeg ütése által okozott feszültség növekedése ki nem mutatható.

b) A tér több irányában működő nagy sebességű erők.

146. A tér több irányában működő nagy sebességű erők hatását mindeddig nem tanulmányozták rendszeresen, ezért hatásukra csak egyes kísérleti eredményekből lehet következtetnünk. Ez irányban a legbecse- sebb adatokat HARTMANN*) szolgáltatta. Ő ugyanis vékony páncéllemezeket 200 400 500 méter másodpercenkénti sebességgel haladó lövedékek

*) L. HARTMANN »Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts.« Paris, 1896.

hatásának tett ki s azt tapasztalta, hogy a sebesség növekedtével csökkent a támadás pontját körülvevő felszínrajzos gyűrű átmérője. Minthogy ő a gyűrű átmérőjét és a golyó sebességét is közli, e két adatból megállapítottuk, hogy:

$$\frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2; \text{ tehát } D_2 = \frac{D_1 v_1^2}{v_2^2} = \frac{A}{v_2^2}. \quad (159.)$$

Ennek a jelenségnek az oka az, hogy a lövedék hatása következtében a lemez behajlik s így felszínén logaritmikus vonalakból álló hálózat képződik. Minél gyorsabb a hajlítás, annál kisebb részre terjed ki a lemez behajlása, mert a részecskék elmozdulásához egy bizonyos idő kell; ha tehát a szükséges időt nem adjuk meg, az elmozdulás útja a sebesség négyzetével csökken.

E kísérleti eredményekből arra a következtetésekre jutunk, hogy az erő ütőhatása elsősorban az alakváltozás terjedelmét, tehát a *nyújthatóságot*, vagyis a λ_2 értékét befolyásolja, amint ezt a 112. pontban a bemetszett hajlító testek ütőhatásának tárgyalásakor is láttuk.

A nyújthatóság csökkenése, valamint az alakváltozásban résztvevő darab kisebbedése az anyagok viselkedését is befolyásolja. Így például: az üvegtábla közepére ható lassú erő következtében az üvegtábla elreped, ha azonban ütőhatásnak volt kitéve, azaz ha lövedék érte, átlukad, de nem reped el, sőt KICK szerint a cérnaszálra felfüggesztett üvegtábla ki sem mozdul, ha lövedék éri.

Ámde, ha nagy sebességű szerszámmal való ütközésnél az alakváltozás körzete csökken, úgy ez a jelenség az igénybevétel kezdetén az előbbi pontban tárgyalt egyirányú erő hatásakor is érvényesül, mert ekkor a zérus sebességű testre a nagyobb sebességű húzó szerszám ütést mér.

Minthogy a nagy sebesség hatása folytán a feszültség nő, a kohézió pedig változatlan s mert az anyagok alakíthatósága a feszültségnek a kohézióhoz való viszonyától függ, következik, hogy a nagyobb sebesség az anyagok alakíthatóságát is befolyásolja. Így például a feszültség növekedése folytán a képlékenység a következő módon változik:

$$k_x + 1 = \frac{\pi_1}{p_{e,x}} = \frac{\pi_1}{p_e \left(\frac{v}{0,04} \right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{1 + k}{\left(\frac{v}{0,04} \right)^{\frac{1}{n}}}. \quad (160.)$$

E képlet értelmében csökken tehát a képlékenység; ha pedig a növekedett $p_{e,x}$ feszültség a π_1 értékét eléri, azaz ha:

$$p_{e,x} = \left(p_e \frac{v}{0,04} \right)^{\frac{1}{n}} = \pi_1,$$

akkor a test *kontrakció nélkül szakad el*, míg ha a π_1 értéket a folyás határánál levő feszültség éri el, azaz ha:

$$p_{f,x} = p_f \left(\frac{v}{0,04} \right)^{\frac{1}{n}} = \pi_1,$$

akkor a test szívós alakváltozás-, azaz egyenletes nyúlás nélkül épűgy elszakad, mint a rideg test. Ebből kitűnik, hogy minden anyag más-más sebességű ütközés folytán szakad el rideg anyagként, miért is ezt a jellemző sebességet *kritikus* sebességnek nevezzük.

E most ismertetett jelenséggel látszólag ellentétben áll ROSENHAIN és HUMFREY előbb közölt amaz észlelete, hogy 1010 C⁰-on az alakváltozás sokkal egyenletesebb. Még nagyobbban látszik a jelenségek és következtetések közötti ellentét, ha nedves agyagból készitünk húzótesteket s ha azok egy részét lassan, más részét pedig lökészerűen szakítjuk el. A lassú igénybevétel alatt ugyanis az agyag alig kontrahál, míg gyors igénybevételkor oly nagy mértékben kontrahál, hogy a szakadás helyén a próbatest hegyes kúppá válik. Ez a jelenség azonban csak oly anyagoknál észlelhető, amelyek molekuláris kohéziója kevésbé nagyobb az elcsúsztatáshoz szükséges feszültségnél. Az ily anyagok a gyors tovacsúztatás folytán ismét kohéziós kapcsolatba jönnek s így kezdő repedésük nem folytatódik.

D) A tér három irányában ható nyomóerők hegesztő hatása.

a) Hegesztés kapcsolócsoporthoz útján.

147. Két testnek külső erővel véghezvitt kohéziós kapcsolatát *hegedésnek*, az ezt végző műveletet pedig *hegesztésnek* mondjuk.

Az érintkező testek felületén levő csoportok, még ha gondosan egymáson csiszoltatnak is, a kohéziókörzet kétszeresénél közelebb azért nem juthatnak egymáshoz, mert szélső elemeik a kohézió határáig lengenek ki. Kapcsolat közöttük csak akkor jöhet létre, ha a két felület szélső elemi csoportjait legalább annyira sűrítjük, hogy távolságuk a kohézió körzeténél kisebb legyen.

A sűrítést, a 141. pontban kifejtettek szerint, háromirányú erővel hozhatjuk létre. Hogy azonban a sűrítés kellő fokú legyen, ahhoz az 6. I. ábra szerint akkora háromirányú nyomóerő szükséges, amekkora a kohézió; a 6. II., vagy a 6. III. ábra szerint pedig az a kohézióknál kisebb is lehet. Ez utóbbi eset szemcsés szerkezetű anyagnál fordul elő; ilyenkor azonban figyelniünk kell arra, hogy a háromirányú erő a szemcse közötti kohézióknál kisebb ne legyen, mert különben a kapcsolódás tökéletlen.

A háromirányú erő kellő nagysága csak a szemben álló felületek szélső csoportjainak biztosítja a kívánt közeledést. Ámde az I. k. 17. pontja szerint a kellő közelségben levő elemi csoportok csak akkor juthatnak kohéziós kapcsolatba, ha forgásukból eredően egyáltalán nem, rezgésük folytán pedig centrikusan ütköznek. E feltételeknek az elemi csoportok az I. k. 10—25. pontjában kifejtettek szerint akkor felelnek meg tökéle-

tesen, ha tengelyeik csaknem párhuzamosak és ha azonfelül egyik tengelyirányuk egybeesik, részben pedig akkor, ha egyik tengelyirányuk a kapcsolócsoporthoz megfelelően legalább megközelítőleg esik egybe.

A felszín érintkező csoportjai azonban a legkritikább esetben vannak ily kedvező helyzetben. De mert a felszínen levő szemcsék mindegyikének tengelyiránya más és más, kétségtelen, hogy az egymásra helyezett két felszínen azonos irányban fekvő csoportok is vannak. Lehetővé kell tehát tennünk, hogy egy bizonyos csoport a másik felületen levő számos más csoporttal érintkezésbe jöhessen, mert csak így válik lehetségessé, hogy a kedvező helyzetű csoportok találkozzanak.

Az elmondottakból következik, hogy szilárd testek hegesztése csak akkor lehetséges, ha a hegesztendő felületek érintkező csoportjait legalább a szemcse közötti kohézióval egyenlő nagyságú háromirányú erővel sűrítjük és ha eközben a felületek szemcséit egymáshoz képest nagymértékben elcsúsztatjuk.

Ezt a feladatot, a 141. pontban elmondottak szerint palástnyomással párosult tengelyirányú nyomóerővel oldhatjuk meg. A palástnyomást úgy fejtjük ki, hogy a hegesztendő testeket csőbe tesszük; mentől keményebb anyagból készült a cső és mentől vastagabb a fala, annál nagyobb lesz a palástnyomás. Minthogy a csőbehelyezés költséges, ezt az eljárást csak nagy oldalnyomások kifejtésére érdemes használni. Kisebb oldalnyomásokat az 51. pontban (lásd a 16. V. ábrát) tárgyalt módon, vagyis úgy fejthetünk ki, hogy a próbatest magasságméretét átmérőjének felénél kisebbre vesszük, a 78. pont szerint pedig úgy is, hogy a hegesztendő részeket szűrő-, vagy harapóhatásnak (lásd a 87. pontot) tesszük ki, végre a 146. pont szerint ugyanazt a hatást a hatóerő sebességének fokozásával is elérhetjük.

α) Oldalnyomással végzett hegesztés.

148. A hegesztéshez a szűrőhatás egymagában akkor elegendő, ha a kohézió kezdeti értéke (lásd a 6. III. ábrát) a folyás határának kétszeres értékénél kisebb. Ekkor ugyanis, mert a szűrőszerszám alatt a feszültség $q_f(1 + tg^2\beta)$, a kohézió kisebb e nyomófeszültség által okozott húzófeszültségnél, vagyis $\pi_1 < p_f(1 + tg^2\beta)$, így a hegesztés végbe-mehet. Minthogy ezzel, vagyis a 6. III. ábrával megérvényesített tulajdonsággal az oxigénlángban kilágyított arany rendelkezik, ezért az aranyat hidegen lehet hegeszteni. A fogászatban ez eljárást a fogak tömésénél alkalmazzák. E célra teljesen kilágyított aranyfüstből gömböcskéket készítenek, ezeket a fogüregben tompavégű szűrőszerszámra ható kalapácsütésekkel, nyomás alatt, elcsúsztatják, miközben az érintkező részek tényleg összehegednek.

Vasfajtáknak a 6. III. ábrával megérvényesített tulajdonságot csak magas hőfokon adhatjuk meg, ezért hegesztésüket izzó állapotban végezzük.

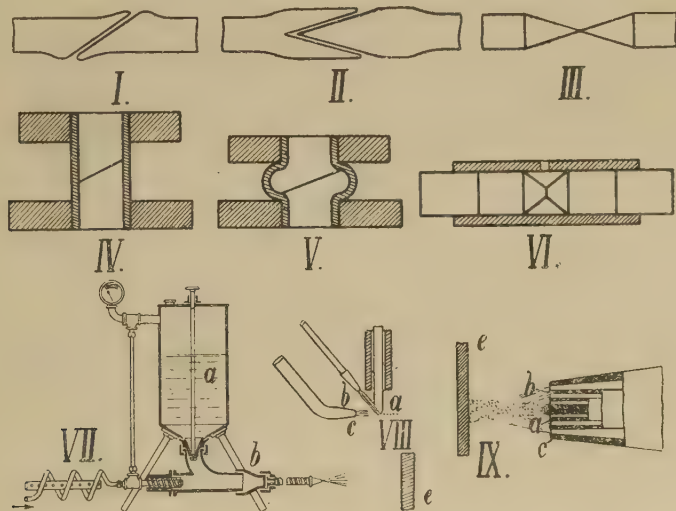
A szükséges feszültség szűrő- és ütőhatással fejthető ki. Ámde az I. kötet 180. pontja szerint a vasfajok izzó állapotú keménysége egyazon hőfokon azok hideg állapotú keménységével arányos, vagyis izzó állapotban a kovácsolt vasak ép annyival lágyabbak az acélfajoknál, mint hideg állapotban és mert az I. kötet 50. ábrája szerint az izzítás legmagasabb hőfoka a szoliduszhoz közel állhat, a szolidusz azonban lágyabb vasfajoknál jóval magasabb hőfokú, mint az acéloknál, mindebből következik, hogy a szénszegényebb vasfajok 100 fokkal a szolidusz alatt lényegesen lágyabbak lesznek, mint a széndúsabbak, miért is kisebb feszültség alatt hegednek. Így például a 0,2% C tartalmú kovácsoltvas 1200 fok Celsiusra hevíthető fel, ekkor keménysége az I. kötet 180. pontja szerint $1,3 \text{ kg/mm}^2$, ellenben a 0,9 C tartalmú *eutektoidos* acél csak 1000 fokra hevíthető s ekkor keménysége $5,8 \text{ kg/mm}^2$, tehát 4—5-ször akkora, mint a lágyvasé.

Lágyvasak hegesztéséhez szükséges kismértékű sűrítő erőhatás kalapácsütésekkel végzett harapóhatással (lásd a 85. pontot) érhető el, az érintkező felületek nagyfokú elmozdulása pedig a hegesztendő felületeknek a 77. I. és II. ábrákon jelzett ferde illesztésével. Ily úton a hegesztés oly hatályos, hogy a hegesztett keresztmetszet szilárdsága eléri a sértetlen keresztmetszet 0,80-át is. Keményebb vasfajok hegesztéséhez szükséges nagyobb feszültségek úgy fejthetők ki, hogy a hegesztendő testeket a 77. III. ábrán látott kúpos végekkel hozzuk érintkezésbe, ezeket kovácstűzben egymással szembe állítva izzítjuk s ily állapotban a kovácstűzben kalapácsütésekkel egymáshoz ütjük. Hegesztésnél azonban figyelembe veendő a vasfajok azon sajátága, hogy az izzás hőfokán oxidálódnak; minthogy pedig az oxidréteg gátolja a fémes felületek érintkezését, gondoskodnunk kell arról, hogy az könnyen eltávolítható legyen. E célból a hegesztendő felületeket oly salakképző anyagokkal szokás behinteni, amelyek az oxidokat oldják, de a fémvasat nem. Az ilyen salakréteget a hegesztendő darabnak az üllőhöz való odaverésével rázzuk le. Keményebb acélfajok hegesztésekor a salakképző-anyagokhoz lágyvasreszeléket is kevernek, mert a lágyvas könnyebben deformálódik s így gyorsabban találkozik az acél kedvezőbb fekvésű csoportjaival, amelyekhez azonnal kapcsolódik.

β) *Palástnyomással végzett hegesztés.*

149. Hideg állapotban a fémek legnagyobb részének szemcse közötti kohéziója nagyértékű, hegesztésük tehát csak elegendő nagyságú palástnyomással lehetséges. Hogy elegendő nagyságú, vagyis a szemcse közötti kohézióval egyenlő értékű palástnyomással bármely fém hideg állapotban hegeszthető, azt az ólommal, ónnal és rézzel végzett kísérleteink igazolják, amelyeknél a szükséges palástnyomást a hegesztendő részeknek csőbe való beillesztésével értük el. A cső hosszát a belső átmérőnek háromszorosára vettük, s hogy a deformálódást a cső középső részére korlátoz-

hassuk, a cső mindkét végére oly vastag tárcsákat helyeztünk, amelyek hosszának negyedét foglalták le. Ezzel az elrendezéssel elértük, hogy a deformálható hosszúság a 77. I. ábra szerint az átmérővel csaknem azonos volt, de mert a deformálás előrehaladtával a magasság kisebbedett, az átmérő pedig nagyobbodott, az átmérő csakhamar nagyobb lett a magasságnál, minek következtében a középső részben a feszültség rohamosan nőtt s így a hegedés ott megindulhatott. Megemlítjük, hogy kísérleteinknél a hegesztendő felületeket ferde illesztésekkel láttuk el és hogy azokról az oxidréteget közvetlenül az összenyomás előtt lekapartuk. Az összenyomást addig folytattuk, míg a cső külső átmérője az eredetinek kétszeresére nőtt.



77. ábra.

A hegesztésnél használható eljárások.

Hogy a kívánt palástnyomást kifejthessük, az ólmot és az ónt 3,5 mm falvastagságú hegesztett vascsőbe, a rézet pedig 2,5 mm falvastagságú Mannesmann-csőbe tettük. Az ón alakításakor, mert ennél a szemcse közötti kohézió $\pi_1 = 12 \text{ kg/mm}^2$, a nyomást 51 tonnáig fokoztuk; az ólomhoz, mert szemcse közötti kohéziója $\pi_1 = 22 \text{ kg/mm}^2$, 110 tonnát, a rézhez pedig, mert $\pi_1 = 49 \text{ kg/mm}^2$, 300 tonnát használtunk. A próbatestekről, azok összenyomása után, a vascsövet leosztargáltuk s akkor kitűnt, hogy az ólom és az ón hegesztett részének keresztmetszetei a sértetlen anyag szilárdságának 80 ~ 88%-át érték el, a réz pedig a 90, sőt a 100%-ot is. E kísérletek szerint tehát a hidegen végzett hegesztés ugyanakkora fokú kapcsolódást biztosít, mint a melegen végzett; a hidegen végzett hegesztés hátránya, hogy költséges, előnye azonban, hogy ezzel minden anyag hegeszthető, holott meleg eljárással csak három anyagot lehet hegeszteni, nevezetesen vasat, nikkelt és platinát.

γ) Ütközéssel végzett hegesztés.

150. Nagy sebességgel ütköző tömegek, ütközésük pillanatában a szilárd fal anyagára szűrőhatást fejtenek ki, s mert a 146. pontban kifejtettek szerint az érintkező felületen ébredő fajlagos feszültség a sebességtől függően nő, a sebesség kellő növelésével a fajlagos feszültség a szemcse-közötti kohézió (π_1) értékét is elérheti. Az ily viszonyok között érintkező testek részecskéi tehát kellő közelségbe jutnak és mert közöttük elmozdulás is van, minthogy az ütközés a legritkább esetben teljesen centrikus, azért össze is hegednek.

Az ütköző testek hegesztését SCHOOP E. zürichi mérnök 1908-ban vette észre. Ő ugyanis arról győződött meg, hogy a Flobert-puskából kilőtt sörétek a vas céltáblán összefüggő burkot alkotnak; ebből pedig arra következtetett, hogy a nagy sebességgel dobott fémrészek összehegednek.

Hogy következtetése helyessége felől meggyőződjék, szilárd falra erős légárammal ónport lövelt. E célra a 77. VII. ábrán jelzett berendezést használta. Az *a* tartályból a fémport légnyomással sajtolta a *b* csőbe; ebben nagynyomású levegő áramlott, amely elragadta a fémporrészeket és az *c* falhoz dobta. Minthogy az ónrészek hegesztését ily módon is elérte, a fémek porlasztását a 77. VIII. ábrán jelzett módon próbálta meg. A hegesztendő *a* fémet drótalakban a *b* hőforrásnak tette ki, a megömlött cseppeket pedig a *c* csövön áramló nagysebességű levegőnek, amely a cseppeket porlasztotta s az *c* falhoz vágta. A hegesztés most is sikerült. Ez eljárásnál is szilárd állapotban hegednek a fémrészek: ütközéskor ugyanis hőfokuk alig éri el a 60° C-t. A munka gyorsítása kedvéért SCHOOP az imént ismertetett eljáráshoz a 77. IX. ábrán jelzett elrendezést alkalmazza. Ennél ugyanis három egymásba helyezett kúpos csővég van: a belső *a* csövön vezeti a hegesztendő anyag drótját, az ezt körülvevő *b* csövön az éghető gázokat és végre a külső *c* csövön a nagysebességű levegőt.

Ezzel az eljárással sikerült SCHOOP-nak *ólmot, ónt, cinket, alumíniumot, rezet, nikkel* és *lággyvasat* is hegeszteni. E részek hegedése azonban csak kapcsolócsoportok útján megy végbe.

b) Hegesztés kristályos csoportok útján.

α) Termikus kezeléssel javított hegesztés.

151. Ámbár az előző pontban ismertetett kísérletek szerint a hegedt keresztmetszet a sértetlen anyag szilárdságát eléri, az mégsem tekinthető az utóbbival egyenértékűnek, mert váltakozó irányú igénybevételek következtében hamar szétnyílik. A szétnyílás oka abban áll, hogy a hegedt felületek kapcsolócsoportok útján függnek össze, ezekben pedig szemcse-oszlás, azaz képlékeny alakváltozás végbe nem mehet.

A kapcsolócsoporthoz azonban, az I. kötet 22. és 182. pontja szerint, termikus kezeléssel további csoportosulásra, vagyis kristályos szemcsékhez való illeszkedésre kényszeríthetők s ekkor a hegedt keresztmetszet is szemcsés szerkezetet nyer, tehát a váltakozó irányú igénybevételeknek éppen úgy ellenáll, mint a teljesen sértetlen anyag. Hogy következtéseink helyessége felől meggyőződjünk, a hidegen hegesztett rezet $700-800^{\circ}\text{C}$ -on, az izzó állapotban hegesztett lágyvasat pedig 900°C -on két órán át izzítottuk, ezután pedig váltakozó irányban hajlítottuk, miközben a hegedt keresztmetszet kontrahált, de szét nem nyílt.

β) Termikus kezeléssel végzett hegesztés.

152. Minthogy a termikus kezelés alatt, az I. kötet 22. pontja szerint, nemcsak a kohéziós kapcsolatú részek változtatják meg csoportosulásukat, hanem mindazok, amelyek a kohézió körzetén belül vannak, függetlenül attól, hogy kapcsolt helyzetben vannak-e vagy sem, azért abban az esetben, ha a hegesztéshez a termikus kezelést is igénybe akarjuk venni, felesleges az érintkező részeket deformálással kapcsolásra kényszeríteni, hanem teljesen elegendő, ha azokat egymáshoz közel hozzuk és felhevítjük. Hogy következtetéseink helyessége felől meggyőződhessünk, folyasztott vassal és nikkellel végeztünk ily irányú kísérleteket.

E célból a hegesztendő darabok egy-egy végét csonka kúppá leesztergáltattuk, ezeket, hogy kúpos végükkel centrikusan összenyomhatókká váljanak, a 77. VI. ábrán jelzett módon csőbe illesztettük. A csövet hosszabbra vettük a próbatesteknél, hogy abban a nyomást közlő acélhengerkék is kellő vezetést nyerjenek. A próbatesteket azután összenyomtuk, miközben érintkezőfelületük, amely kezdetben 2 mm átmérőjű volt, 14–16 mm-re nőtt. Hogy bizonyosságot nyerjünk afelől, vajjon a hegesztés végbement-e, a próbatestek egy részéről a csöveket eltávolítottuk; minthogy akkor a darabok szétestek, kétségtelenül bebizonyult, hogy még nem hegedtek össze. Az összenyomott próbatestek további darabjait $900-1000^{\circ}\text{C}$ -on két órán át termikusan kezeltük, ezután eltávolítottuk a csövet s akkor kitűnt, hogy az érintkező felületek szilárdan összefüggnek, vagyis összehegedtek. A hegesztés mértékének meghatározása céljából e darabokkal húzókísérleteket végeztünk. Minthogy a hegesztett részben az anyag teljesen azonos tulajdonsággal bírt, mint többi részeiben, vagyis, mert a nikkel és a folyasztott vas próbadarabjai az eredeti anyag szívósságával és képlékeny alakíthatóságával rendelkeztek és a változó igénybevételeknek is ép úgy ellentállottak, ezzel a kísérleti eredménnyel következtetéseink helyessége igazolást nyert.

153. A termikus kezelésre nézve azonban meg kell jegyeznünk, hogy az csak akkor jár előnnyel, ha a még össze nem hegedt részekhez a külső levegő hozzá nem fér. Az olyan érintkező felületek ugyanis,

amelyekhez a levegő hozzáfér, oxidálódnak, minek folytán az érintkező részek egymástól távolodni kénytelenek s azért azok a részek is szétválnak, amelyek eddig gyengén összehegedtek. Épen ezért kovácstűzben vagyis izzó állapotban végzett hegesztésnél különös gond fordítandó arra, hogy a felületek szélei jól hegedjenek, mert ezzel a külső levegő behatolását meggátoljuk s a még össze nem hegedt részek utólagos hegedését is biztosítjuk. Annak igazolására, hogy a termikus kezelés folytán a külső levegőtől elzárt üregek teljesen összehegednek, STEAD* kísérleteit hozzuk fel. Ő ugyanis vastömbbe lyukat fűrt, ennek nyílását elzárta, ezután a tömböt 900° C-ra felhevítve, kikovácsolta, ezt követőleg 1100° C-on egy órán át termikusan kezelte és az így kezelt tömb keresztmetszetét mikroszkóppal vizsgálta meg. Ekkor kitűnt, hogy az üreg oldalfalai teljesen összehegedtek.

Zárt üregek falai azonban nemcsak akkor hegednek össze, ha felületük fémes volt, hanem — BERMANN MIKSÁNAK és STEAD-nak egybehangzó kísérleti eredményei szerint — még akkor is, ha azok oxidosak.*) BERMANN ugyanis kovácstűzben végzett hegesztés alkalmával a hegesztendő felületek közé vasoxidot (revét) helyezett el, STEAD pedig a tömb furatát, mielőtt azt elzárta volna, erősen oxidálta. Mindkét kutató a próbadarabokat azok kovácsolása, vagyis hegesztése után termikusan kezelte. Az ily kezelés után végzett mikroszkópi vizsgálat révén kitűnt, hogy a vasoxid teljesen redukálódott. (Lásd I. kötet, 183. pontot.) Megemlítjük, hogy STEAD szerint az olyan zárt üregek is hegedtek, amelyek *széndioxid*dal, *hidrogénnel* vagy *nitrogénnel* voltak megtöltve, a *foszfid*os vagy *sulfid*os üregek azonban nem hegedtek.

*) Lásd a Nemzetközi Anyagvizsgálók Szövetsége 1912. évi newyorki kongresszusának jelentéseit.

SZILÁRD ANYAGOK ALAKVÁLTOZÁSÁNÁL
MEGOLDANDÓ FELADATOK.

SZILÁRD ANYAGOK ALAKVÁLTOZÁSÁNÁL MEGOLDANDÓ FELADATOK.

154. Szilárd testek alakját az általános részben ismertetett erőhatásokkal megváltoztathatjuk ugyan, de mert ezek foganatosításának módja a megoldandó feladatok és a test méretei szerint különböző, azért az alakítást végző eljárásokat nem az erőhatások minősége, hanem az ezekkel kapcsolatos műveletek szerint szokás osztályozni.

A megmunkálás módját mindenekelőtt a testek tömegének nagysága befolyásolja. Abban az esetben, ha a testek nem igen kisméretűek, valamennyi önálló egyedként munkálható meg, de ha megmunkálásuk ily módon túlságosan költséges volna, akkor egyidejűleg a testek sokaságát munkáljuk meg. A megmunkálás módjait ezért két csoportra szokás osztani, nevezetesen: az *egyedek* és a *testsokaságok* megmunkálásának csoportjára.

Az egyedek megmunkálását az a körülmény is befolyásolja, vajjon a test helyhez kötött, avagy tovaszállítható-e, miért is az egyedek csoportjában különbséget teszünk a *szállítható* és a *helyhez kötött* testek között.

A testsokaságok csoportja alkotó elemeinek alakja szerint további két részre oszlik. Az olyan testeket, melyek hosszmérete sokszorosa a többi méretnek, *szálas anyagoknak* mondjuk, az ez alaktól eltérőket pedig *szemes terményeknek* vagy *törmelékeknek* nevezzük. Ez okból a testsokaságok megmunkálását *szálas anyagok* és *szemes termények* vagy *törmelékek* csoportjának megmunkálására osztjuk fel.

A munkafolyamatot azonban nemcsak a tárgy alakja, hanem az alakítás módja is befolyásolja. Az alakítást ugyanis háromféleképpen végezhetjük:

1. a test tömegét *épségben* tartjuk,
2. a test tömegét *részekre* bontjuk,
3. *több* test tömegét *egyesítjük*, hogy ezáltal az új egyed tömegét növeljük.

Ennek alapján úgy az egyedek, mint a testsokaságok csoportját újabb három-három csoportra különítjük.

A testsokaságok megmunkálásánál azonban még azt is tekintetbe kell venni, vajjon az alakítással a testsokaságokat, vagy pedig az ezeket alkotó egyedeket akarjuk-e megmunkálni. Minthogy e csoportosításkor

az egyesített műveleteket figyelmen kívül hagyjuk, következnek, hogy a sokaságok egyedeinek alakítását csak akkor végezhetjük, ha e munkaközben a sokaságok tömegét nem változtatjuk meg; viszont fel kell tennünk, hogy a testsokaságok alakítása alatt az egyedek tömege épségben marad.

Ha a testsokaság tömege változatlan, a csoport további osztályozásánál figyelembe vesszük, vajjon az egyed tömege változatlan marad-e, több részre oszlik-e, vagy pedig, hogy több egyed között kapcsolatot hozunk-e létre; ellenben akkor, ha az egyedek tömege változatlan, az osztályozás a sokaságok tömege szerint megyen végbe, s mert ez ott változatlan maradhat, több részre elkülöníthető és többféle testsokaság is egyesíthető.

Végre megemlítjük, hogy a test részekre való osztásánál tekintetbe jő a tárgynak adandó végső alakja is. Figyelembe veendő ugyanis az a körülmény, vajjon a testnek szabályos alakot adjunk-e, avagy csak szabálytalan. Ez okból a testek részekre bontását további két csoportra választjuk szét, ú. m. *szabályos* és *szabálytalan* alakításra.

Eddig a feladatok csoportosítását tárgyaltuk, a következőkben a feladatok megoldásához szükséges műveletek közül a leggyakrabban használatosaknak elnevezését óhajtjuk ismertetni, mert ezek nem a feladatok természete szerint, hanem az erőhatás módjától, terjedelmétől, valamint az anyag alakíthatóságának fajtától és a kapcsolatok milyenségétől függően nevezetnek el.

155. Szállítható egyedek megmunkálása. Az egyedenként történő megmunkálásnál, ha a test tömegének egységét fenn kell tartanunk, az alakítást csakis az anyagok szívóssága- és képlékenységből eredő nyújtathatóság alapján végezhetjük el, ezért a műveletet *nyújtásnak* nevezzük, mely azonban a szerszám alakja és az igénybevétel módja szerint többféle elnevezést nyerhet, ezek a következők: *kovácsolás, sajtolás, hengerelés, üregeken való áthúzás, hajlítás, csavarás* stb.

Ha a test alakjának megváltoztatását tömegének több részre osztásával eszközöljük, akkor a műveletet vagy úgy végezzük el, hogy a szétválasztás a test teljes keresztmetszete mentén menjen végbe, amikor is neve *darabolás* s ezt *nyírással, vágással* vagy *fűrészeléssel* végezzük; vagy pedig úgy hajtjuk végre a megosztást, hogy az csak a tárgy felülete mentén történjék s ekkor a műveletet *forgácsolásnak* mondjuk, ez pedig a szerszám mozgásának iránya és éleinek száma szerint lehet: *gyalulás, esztergálás, fűrész, marás, reszelés* vagy *koptatás*.

Ha az egyedeket szabálytalan részekre daraboljuk, a műveletet rideg anyag esetén összenyomással végezzük, miért is azt *törésnek* vagy *zúzásnak* nevezzük.

Abban az esetben, ha alakváltozásnál több egyed tömegét egyesítjük, a művelet neve a létesítendő kapcsolat minősége szerint változik, nevezetesen: *hegesztésnek* mondjuk, ha a tömegek kapcsolása kohéziós vagy adhéziós; *összekötésnek*, ha a testeket kötőelemekkel (csavarral, ékkel, szegeccsel) kapcsoljuk össze; *befoglalásnak*, ha az egyik test a másiknak mintegy keretébe van beleillesztve; *sodrásnak*, ha az adhéziós kapcsolást hosszú szál-alakú testek között csavarással hozzuk létre; *burkolásnak*, ha a testet vékony réteggel foglalatosan kapcsoljuk és *bevonásnak*, ha a vékony réteggel való kapcsolat kohéziós vagy adhéziós.

156. *A helyhez kötött egyedek megmunkálása.* A helyhez kötött, vagyis nem szállítható testek megmunkálása ép úgy végezhető, mint a szállítható egyedeké, azzal a különbséggel, hogy az alakításhoz szükséges összes mozgásokat a szerszám végzi.

A helyhez kötött testek szabályos alakítása rendszerint a test kisebb felületi részére terjed ki. Alakítása történhetik: *forgácsolással*, *szúrással*, *lehengereléssel*, *vágással* vagy *borítással* és *burkolással*.

A helyhez kötött testek több szabálytalan részre osztását *darabolással* végezzük. Ez rideg anyag esetén, ha annak vastagsága mérsékelt, *zúzással*, igen vastag réteg esetén pedig *robbantással* történik.

157. *Szálas anyagok feldolgozása.* Szálas anyagokból szabályos testeket az elemi részek méreteinek fenntartásával csak úgy készíthetünk, ha az elemek viszonylagos helyzetét megváltoztatjuk. E műveletet *nyújtásnak* vagy *egyesítésnek* nevezzük, aszerint, amint a sokaság keresztmetszetében a szálak száma kisebbedik vagy nagyobbodik.

Szálas egyedek *darabolását*, ha azok szabályos részekre osztandók, végezhetjük *nyírással*, *vágással*; ha pedig szabálytalan részekre osztandók: *tépéssel*, *koptatással* és *kaparással*; ez utóbbit a zúzással kapcsolatosan *foszlatásnak* nevezzük.

A szálas egyedek közötti kapcsolat hatálya ugyanolyan lehet, mint a más egyedek közötti, vagyis *kohéziós*, *adhéziós* és *foglalatos*. Kohéziós kapcsolatot azonban csak az I. kötetben tárgyalt módon létesíthetünk. Az adhéziós kapcsolat legkisebb értékű akkor, ha az elemek összefüggésüket csak a nehézségi erő hatásából eredő surlódásnak köszönik; ez állapotukat *keveréknek* mondjuk. Növelhetjük az adhéziót, ha a keresztmetszetben levő szálak számát változtatlanul meghagyjuk és csupán sűrűségüket változtatjuk meg. Ilyenkor az eljárás neve: *tömörítés*.

Fokozhatjuk végre az egyedek adhézióját azok összecsavarásával is, ezt a műveletet *sodrásnak* nevezzük.

Szálas anyagok *foglalatos kapcsolása* elemek összekuszálásával érhető el; ezt az eljárást *nemezítésnek* nevezzük.

A különböző testsokaságok egymástól való elkülönítése a kapcsolat foka szerint szintén más és más eljárást igényel.

A kohéziós kapcsolat csakis *darabolással* szüntethető meg; a ragasztáson alapuló adhéziós kapcsolat *töréssel*. A legkisebb fokú adhéziós kapcsolatot, vagyis a keverék összefüggését a sűrűség csökkentésével — *lazítással* — szüntethetjük meg.

A függetlenített állapotban levő egyedek, ha valamelyes fizikai tulajdonságuk is eltérő, ez eltérés tulajdonságai alapján különíthetők el s ezt a műveletet általában *elkülönítésnek* — *fajtázásnak* — nevezzük.

Szálas anyagok feldolgozásánál, ha a keverék-testsokaságok egy része szálas, másik része pedig törmelékeny, és elkülönítésük alakjuk alapján történik, a műveletet *tisztításnak* mondjuk; különböző hosszúságú szálas anyagok hosszúságuk alapján eszközölt elkülönítését pedig *fésülésnek*.

158. Törmelékek és szemes termények feldolgozása. Az egyedek tömegének fenntartása esetén a feldolgozásnál csak az egyedek viszonylagos helyzete változhatik meg s ezt a műveletet *nyújtásnak*, *egyenletes eloszlásnak* vagy *keverésnek* mondjuk.

Az egyedek tömegének feldarabolása esetén az összedarabolt test alakja lehet szabályos vagy szabálytalan.

Szemes terményekből és törmelékekből csupán egyfajta szabályos alakot készíthetünk, t. i. gömbded alakot, mely *koptatással* készül, részben vágással vagy harapással.

A szemes termények szabálytalan alakú részekre osztását többféleképpen eszközölhetjük, nevezetesen *darabolással*, mely rideg anyagok esetén összenyomással végezhető, neve ekkor: *törés*, *zúzás*; továbbá *nyírással*, s ekkor neve: *darálás*; ha nyomással párosult elcsúsztatással végezzük, akkor: *örlésnek* mondjuk. Ha a felületet alkotó réteget távolítjuk el, a művelet neve: *koptatás*.

Szemes testsokaságok között kapcsolat mechanikai úton csak egyféleképpen hozható létre s ezt a műveletet *keverésnek* mondjuk.

Különböző testsokaságok között a kapcsolat megszüntetésének módja a kapcsolás fokától függ.

A kohéziós kapcsolat megszüntetését csakis töréssel, zúzással vagy darálással érhetjük el. Ilyen úton kisebb méretű keverékes kapcsolatban álló testsokaságokra teszünk szert, amelyek különválasztása az egyedek valamelyes eltérő fizikai tulajdonsága alapján történhetik.

Az *elkülönítés* végezhető: nagyság szerint, akkor neve: *szitálás*, *rostálás*; a súrlódási tényező alapján; fajsúly vagy tömeg szerint, alak szerint, mágneses tulajdonsága stb. alapján.

Több testsokaság egyesítésének módjai közül itt csak a *keverés* jöhet tekintetbe.

A külső erővel végzett alakváltoztatások módjait ezekben megismertük. Áttekinthetőség kedvéért e módokat a XXII. táblázatba foglaltuk

Ezek után a fémek feldolgozásának ismertetéséhez foghatunk.

E táblázatból kitűnik, hogy a testek, bármily alakúak és sajátságúak legyenek is, külső erővel a jelzett három mód valamelyike szerint, t. i. az egyedek, a szálas anyagok és a törmelékek módja szerint munkálhatók meg.

Az egyedek például, függetlenül attól, hogy anyaguk fém, fa vagy kőzet, egyaránt forgácsolhatók.

Ha azonban a megmunkálandó test a jelzett három csoport közül kettőbe is sorolható, akkor azt annak a csoportnak munkaszakai szerint munkáljuk meg, amely csoportba az a testrész tartozik, amelyet még további műveleteknek kell alávetni.

Ez okból a búzakalászos szántóföldet a szálas anyagok módja szerint munkáljuk meg, t. i. a szálas termésű búzakalászt kohéziós kapcsolatától darabolással — nyírással, vágással — szabadítjuk meg; ha pedig az ugart, amely ugyancsak szálas anyaggal van bevonva, lazítani kellene, akkor a szántóföldet az egyedek megmunkálásának módja szerint munkáljuk meg, vagyis forgácsolással — szántással — lazítjuk.

ALKALMAZOTT RÉSZ.

A FÉMEK ALAKÍTÁSA KÜLSŐ ERŐK HATÁSÁVAL.

A fémiparban a legtöbb esetben tovaszállítható testek szabályos alakítását kell elvégeznünk, ezért a következőkben csakis az ilyen egyedek szabályos alakításával fogunk foglalkozni.

I. ALAKÍTÁS, A TÖMEGEK EGYSÉGES VOLTÁNAK FENNTARTÁSA MELLETT.

159. Fémeket, ha tömegük egységes voltát fenn akarjuk tartani, egy vagy két irányú erővel csakis képlékenyséjük alapján lehet nagymértékben alakítani, több irányú erővel azonban — a 71. V. ábra szerint — még a rideg anyagok is alakíthatók. Szívós anyagok, mert szívósságuk a 17. pont értelmében korlátolt, egyfolytában csakis szívósságuk határán belül alakíthatók; de mert kilágyítással az anyagot ismét szívóssá tehetjük, az alakítás és kilágyítás felváltott hatásával a szívós anyagokat is nagy mértékben alakíthatjuk. Képlékeny anyagok, mert a képlékenység az alakváltozás következtében nem módosul, kilágyítás nélkül addig a határig alakíthatók, amíg az anyag egyenlőtlen eloszlása következtében keletkezett gátló erők azt el nem repesztik. Minthogy képlékeny anyagok alakítása egyszerűbb és gyorsabb, igyekeznünk kell az anyagokat képlékeny állapotukban alakítani. E feladatot azonban nem minden fémnél lehet megoldani, ezért indokolt, hogy a különböző fémeket elkülönítve tárgyaljuk.

A) Vasötvözetek.

160. A hipo- és hiper-eutektoidos vasfajok az első kötet 179. pontja szerint a solidus alatti austenit-mezőben képlékenyek lesznek, ámde ugyanekkor keménységük rohamosan csökken. Minthogy a képlékenység 650°C közelében éri el gyors változása határát, s mert a keménység a solidusig gyorsan csökken, azért e vasfajtákat lehetőleg magas hőfokon kell alakítanunk, anélkül azonban, hogy az elégés veszélyének kitennök. Az elégés kizártnak tekinthető, ha az anyag hőfoka 100° -kal csekélyebb a solidusnak megfelelő hőfoknál, ezért az alakítást 650° és $(t_{sz} - 100^{\circ})\text{C}$ között végezzük. Az eutektoidos acél tehát legfeljebb 1000° -ra, a $0,5\%$ széntartalmú kovácsvas 1200° -ra is felhevíthető. Magasabb hőfokra izzított

vasat azonban alakítás nélkül lehűteni nem szabad, mert durva szemcséjűvé válik, miért is szabályként kimondjuk, hogy az izzó vasat mindaddig kell alakítani (kovácsolni), míg 800°-ra le nem hűl. Ugyancsak megelőzendő a vas alacsonyabb hőfokon való alakítása is, mert 650° C alatt a keménység rohamosan nő, a képlékenység rohamosan csökken, 300° C-nál pedig a vas kéktörésűvé válik.

Az előbb megadatott hőfok-határokon belül a keménységet az I. kötet 150. oldalán lévő VI. táblázatba foglalt ν_1 viszonyszám segítségével kiszámíthatjuk, ugyanis t^0 C.-on a keménység:

$$p_{e, t^0} = \nu_1 p_{e, 20^0};$$

a ν_1 tényezőre pedig azt találtuk, hogy

$$\begin{aligned} \text{ha } t &= 650^0, 700^0, 800^0, 900^0, 1000^0, 1100^0, 1200^0, \\ \text{akkor } \nu_1 &= 0,485, 0,335, 0,192, 0,123, 0,073, 0,049, 0,031. \end{aligned}$$

Hogy a keménység számértékét táblázat nélkül, vagyis analitikai képlettel meghatározhassuk, a ν_1 és t értékeket logaritmikus koordináta-tengelyrendszerben ábrázoltuk s ekkor azt találtuk, hogy a ν változása a következő képlettel fejezhető ki:

$$\nu_1 = \frac{730}{(0,01 t)^4},$$

miért is:

$$p_{e, t} = p_{e, 20^0} \cdot \frac{730}{(0,01 t)^4}. \quad (161.)$$

A nyújtást azonban, amint azt a 87. pontban említettük, szúrásos és harapásos nyugvó műveletekkel végezzük. Ilyenkor az anyag ellenállása a 63. képlet szerint:

$$q_{sz} = q(1 + tg^2 \beta) = p tg^2 \beta (1 + tg^2 \beta).$$

Kísérleteinkből tudjuk, hogy izzó vasfajtáknál $tg^2 \beta$ közel áll 1,3-hoz, így $tg^2 \beta (1 + tg^2 \beta) \approx 3$ -ra vehető, miért is nyújtáskor az anyag ellenállása

$$q_{sz, t^0} = 3 p_e \frac{730}{(0,01 t)^4} \quad (162.)$$

képlettel fejezhető ki.

Az anyag ellenállását ismerve, a tárgy alakításához szükséges erőt és munkát is megállapíthatjuk. Az erő a 16. és 28. képlet szerint, ha kötöttség nincs:

$$Q = \Delta_1 q_{sz} = \Delta \frac{\partial}{\partial_1} q_{sz},$$

s így a munka, ha az erő útját s -el jelöljük:

$$W_B = \int_0^s Q ds. \quad (163.)$$

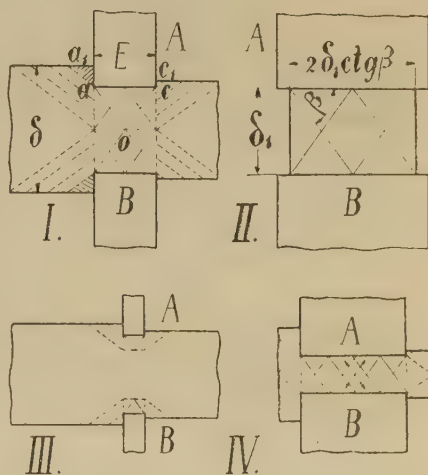
Ámde az erő útja: $s = \delta - \delta_1$, miért is $ds = -d\delta_1$; ez alapon a belső munka képlete:

$$\mathfrak{M}_B = -\Delta \delta q_{sz} \int_{\delta}^{\delta_1} \frac{d\delta_1}{\delta_1} = \Delta \delta q_{sz} \int_{\delta_1}^{\delta} \frac{d\delta_1}{\delta_1} = \Delta \delta q_{sz} \ln \frac{\delta}{\delta_1}. \quad (163/a.)$$

Mint hogy a $\Delta \delta$ szorzat a szerszám alatt lévő darabnak köbtartalmát jelenti, jelöljük ezt K -val, helyettesítsük ezt a fenti képletbe s a log. naturális értéke helyett írjuk annak sorba fejtett alakját, lesz akkor:

$$\mathfrak{M}_B = K \cdot q_{sz} \ln \frac{\delta}{\delta_1} = 2 K q_{sz} \frac{\frac{\delta}{\delta_1} - 1}{\frac{\delta}{\delta_1} + 1} = 2 K q_{sz} \frac{\delta - \delta_1}{\delta + \delta_1} = K q_{sz} 2,3 \lg \frac{\delta}{\delta_1}. \quad (163, b.)$$

A képletben szereplő $\frac{\delta}{\delta_1}$ viszony a deformálás fokát jelenti s ezt a külső munka hasznosítása szempontjából a 71. pont értelmében lehetőleg nagyra kellene venni; de mert kovácsolásnál a 78. I. ábra szerint a tárgynak csak egyrésze áll a szerszám behatása alatt, ezért erre az aa_1 és az a -ból húzott irányvonal közötti anyag gátlást fejt ki. E gátlás annál nagyobb lehet, minél nagyobb az anyag képlékenysége, ennél fogva mondhatjuk, hogy magasabb hőfokon nagyobb mértékű lehet a $\frac{\delta}{\delta_1}$ viszony s mert egyazon hőfokon a képlékenység a széntartalommal csökken, ezért lágy vasakat erősebben, acélokat pedig kevésbé szabad alakítani és pedig lágy vasaknál a $\frac{\delta}{\delta_1}$



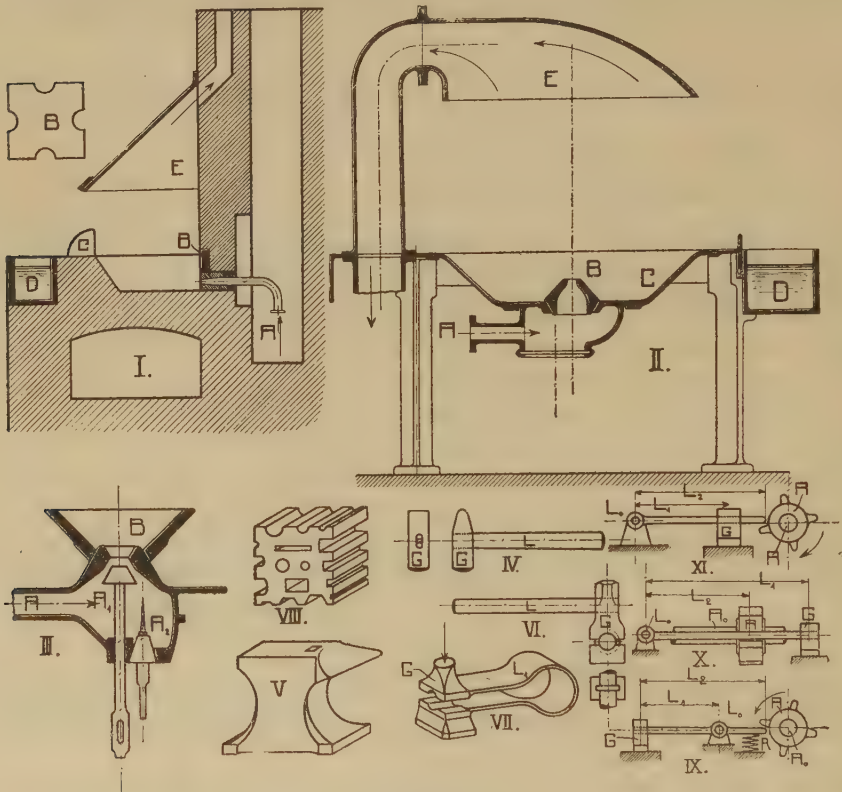
78. ábra.

A kalapács és üllő harapó hatása.

viszony úgy választandó, hogy annak értéke a hőfok szerint 1,2 és 2, acéloknál pedig úgy, hogy az 1,05 és 1,25 között mozogjon.

161. Minthogy a kovácsolható vasfajtákat izzó állapotukban alakítjuk, azért itten az izzítás eszközeit is ismertetjük. Nagyobb méretű tárgyak izzítása lángkemencékben történik (l. az I. kötet, 214. ábrát), kisebb tárgyaké pedig közvetlenül széntűzben, amelyet *kovácstűznek* nevezünk. Ez utóbbi esetben a tüzelőanyagnak kénmentesnek kell lennie, különben elrontja a vasat, t. i. kéntől a vas meleg állapotban törékennyé válik, tehát kovácsolhatóságát veszti. E követelménynek nemcsak a faszén, hanem némely kőszén is elegendet tehet. Ha kőszént használunk, az jól kokszolható legyen.

A tüzelőanyag elégéséhez szükséges levegőt a kovácstűzbe mintegy 150 mm vízoszlopnnyomással fújtatjuk be. Zárt helyen felállított kovácstűznél az égéstermékek elvezetéséről is gondoskodnunk kell. Ha a kovácstűz fal mentén van elhelyezve, amint azt a 79. I. ábra mutatja, az égéstermékek elszívását kürtővel végeztetjük, ha azonban a tűzhely szabadon áll (l. a 79. II. ábrát), akkor az égéstermékeket az exhaustorral kapcsolatban álló *E* ernyővel vezetjük el. Az ilyen elrendezésű kovácstűzhelyet



79. ábra.

A kovácsműhely szerszámai.

amerikainak szokás nevezni. A szabadban álló *tábori tűzhelyeknél* az égéstermékeket nem kell mesterségesen elvezetni.

A falmenti kovácstűzhely alkotórészei a következők (l. a 79. I. ábrát). A levegő az *A* csövön jut be, melynek végét elégés ellen a *B* pajzzsal védjük, a tüzet pedig negyedgömbalakú *C* határkövekkel (tűzparttal) határoljuk. A meleg sugárzása csökkentése végett a tüzelőanyag felületét locsolni szokás, miért is a kovácstűz a *D* vízmedencével is fel van szerelve. Az égési termékek az *E* felfogóernyő alatt levő nyíláson a kürtőbe jutnak.

Az amerikai kovácstűzhelynél (I. a 79. II. ábrát) a levegőt a tűzmedence közepén vezetjük be; mennyiségét a 79. III. ábrán látott *B* szeleppel szabályozhatjuk, az ott látható A_1 szelep pedig a salak kifújtására szolgál.

A kovácstüzekbe a levegőt szárnyas ventilátorokkal fújtatják, mert ezek 150 mm vízoszlopnymás kifejtésekor még jó hasznosítási fokkal dolgoznak.

A szükséges szénmennyiség a kovácstűz nagyságától függ. Ha a tűzpartok (határkövek) között levő tér: $\Delta = 0,12 \cdot 0,3 = 0,036 \text{ m}^3$, akkor óránként 7—8 kg. szén égethető el, ezért az eléghető szénmennyiség így is kifejezhető:

$$C_{\text{kg pro óra}} = \Delta \text{ m}^3 \cdot 200 = 2 \Delta \text{ dm}^3. \quad (164.)$$

Kísérleteink szerint adott méretű tűztérben a tárgynak csak oly hosszúságú darabja izzik, amely a tűztér hosszmeretének kb. a felével egyenlő, ennek izzóvá tételére súlyával arányos idő kell, még pedig kilogrammonként 4 perc. Minthogy óránként 7—8 kg szén ég el, azaz percenként 0,12—0,13 kg, azért mondhatjuk, hogy 1 kg vas egyszeri izzítására folytonos munkánál 0,4—0,5 kg kőszén szükséges és mert egy izzítással nagymértékű alakváltozást okozni alig lehet, azért alakos tárgyakat 2—4-szer kell izzítani. Minthogy kovácsolás közben a vas csak 600^o-ra hűl le, a további izzítások rövidebb időt kívánnak, ennél fogva a szénfogyasztás akkor 0,3—0,4 kg-ra csökken, miért is egyszerűbb alakkal bíró tárgyak nyújtásához átlag 1 kg vasra 1 kg szenet, alakos tárgyak készítésekor pedig 1 kg vasra 1,5 kg szenet kell számítanunk, feltéve ugyanis, hogy a szén melegfejtő képessége: 7000 kalória. Lángkemencékben 100 kg vasra csak 15 kg 7000 kalóriás szén kell, tehát 100 kg. vas egyszeri izzítása 100,000 kalóriát igényel; ámde vékonyárú készítésénél a tárgy 2—3-szor is izzítandó, akkor azonban az izzítás rövidebb ideig tart, amiért e célra 60,000 kalória elegendő; ez utóbbi esetben tehát 100 kg vasra összesen 220,000 kalória veendő számításba, vagyis annyi, amennyit a Martin-ingot gyártás igényel.

a) Az anyag nyújthatóságán alapuló alakítás.

162. Az anyag nyújthatóságán, t. i. szívósságán és képlékenységén alapuló alakváltozást tágabb értelemben vett nyújtásnak mondjuk. Ilyent legegyszerűbben időszakosan működő harapószerszámokkal végezhetünk. A szerszám hatása lehet ütésszerű vagy lassú nyomás, továbbá időszakos vagy folytonos. Az alakításnak azt a módját, amelynél a szerszám ütészerűen hat, *kovácsolásnak*, a lassan ható, folyton növekedő erőt kifejtő szerszámműködést pedig *sajtolásnak* nevezzük. A folytonos működésű forgó szerszámmal végzett alakítást *hengerlésnek*, a folytonos működésű, álló szerszámmal végzettet pedig *üregben való áthúzásnak* nevezzük. Mint-

hogy e műveletekkel a keresztmetszetet két irányban csökkenthetjük, a méretnövelés egyirányú, azért ez alakításokat szorosabb értelemben vett *nyújtásnak* mondhatjuk; ennek ellentéte a *duzzasztás*; ha pedig a két műveletet helyenként váltakozva alkalmazzuk, a műveletet *alakzásnak* nevezzük.

Az eddig felsorolt műveleteknél egyértelmű alakváltozás megy végbe a tárgy egész keresztmetszetében. Ha a keresztmetszet egyes részeiben különböző értelmű alakváltozások történnek, akkor a műveletet *hailításnak* vagy *csavarásnak* mondjuk.

α) Kovácsolás.

163. Kovácsolásnál az akciós szerszámot kalapácsnak vagy pörölynek, a reakciósat pedig üllőnek nevezzük. Hogy a kalapáccsal ütést fejthessünk ki, abban kinetikai energiát (mozgási erélyt) kell felhalmoznunk. E célból a kalapácsot kézzel vagy géppel valamekkora magasságra emeljük s onnét szabadon vagy gyorsító erővel a tárgyra ejtjük s mert gépies mozgatót a motórral közvetve vagy közvetlenül végeztethetünk, a kalapácsokat három csoportba osztjuk, nevezetesen *kézi, transzmissziós és motorikus* kalapácsok csoportjába.

α₁) A kézi kalapácsok.

164. A kalapács tömegét hasábalakúra készítjük, még pedig acélból (folyasztott, cementált vagy temperált acélból); a hasáb egyik végét kissé legömbölyítjük, hogy ütéskor a levegő közbe ne rekedjen, másik végének pedig, amint a 79. IV. ábrából kitűnik, ékalakot adunk, vagyis hatófelületét csökkentjük, hogy ezzel hatályosabb nyújtást végezhesünk. A kalapács tömege, vagyis a kalapács feje, igen különböző súlyú lehet, ennek megfelelően nyelének hosszúsága is változó. Minthogy a 2,5 kg-nál csekélyebb súlyúak egy kézzel mozgathatók, ezért nyelük 0,1—0,4 m hosszú; a 3—10 kg súlyúakat már csak két kézzel lehet mozgatni, ezért ezeket 0,8 m hosszú nyéllel látjuk el.

Az üllő akkora legyen, hogy a kalapács ütése alatt el ne törjön, sőt alakja maradónan meg se változzék. A gyakorlat szerint e feltételnek eleget teszünk, ha az üllő súlyát a kalapács súlyának 30-szorosára vesszük. A kovácsoláshoz használt üllő alakját a 79. V. ábra mutatja: annak felső része a tárgy kellő megfekvése céljából sík alakú, egyik vége pedig hegyes, hogy e körül a tárgy meghajlítható legyen. Az üllő felső lapján négyszögű lyuk is van, a formás üllő-részleteknek beillesztése céljából.

A most ismertetett kézi kalapáccsal főleg egyirányú nyújtást végezhetünk. Ha a kinyújtott darab felületét egyengetni akarnók, teljesen sík elülettel bíró szerszámot kellene használnunk, ámde az ilyen szerszámmal közvetlenül a tárgyra ütést nem mérhetünk, ezért ezt nyelénél fogva ráhelyezzük a tárgyra és egy másik kalapáccsal üttünk reá.

Ugyanígy járunk el, ha alakos felületet kell készítenünk, ilyenkor azonban nemcsak a kalapács, hanem az üllő is formás. A formás kalapácsot *alakverőnek*, a formás üllőt pedig *alaktárnak*, *odunak* vagy *odornak* nevezzük. Az alakverőt az alaktárnál a 79. VI. ábra szerint egymásra helyezzük, vagy a 79. VII. ábra szerint egymással rugóval kapcsoljuk össze. A gyakran használt formás üllőrészeket rendszerint egy lappá egyesítetnek, amint azt a 79. VIII. ábra mutatja.

3.1) A transzmissziós kalapácsok.

165. A kalapácsok gépi mozgatását úgy kell végeznünk, hogy az ütés reakciója a transzmisszióra vagy a motorra ki ne terjedjen. E célból vagy oldhatóan kapcsoljuk a kalapácsot a transzmisszióhoz, vagy rugalmas szerkezetet iktatunk a kettő közé. Az oldható kapcsolás legegyszerűbb módja az, hogy a kalapács tömegét kézi kalapács módjára nyéllel látjuk el, s azt csap körül elmozdíthatóvá tesszük, elmozdítását pedig excenterrel úgy végezzük, hogy a kalapács tömege szabadon essék le. E szerkezeteknél a forgás tengelye lehet a nyél közepén (l. a 79. IX. ábrát) s akkor ennek emelése a nyél végére ható *A* excenterekkel végezhető, miért is e rendszert *farkas kalapácsnak* mondjuk. Az ütések gyorsítása céljából a farkas kalapácsnak a nyele alá a 79. IX. ábrán látott *R* rugót is elhelyezhetjük. Lehet a csapot a nyél végére is elhelyezni: ekkor az emelő excenterek vagy a nyél közepére hatnak s ez esetben *mellkalapács*-sal van dolgunk (l. a 79. X. ábrát), vagy pedig az excenterek a nyél külső végére hatnak s ekkor a kalapács neve *fejes kalapács*. (L. a 79. XI. ábrát.)

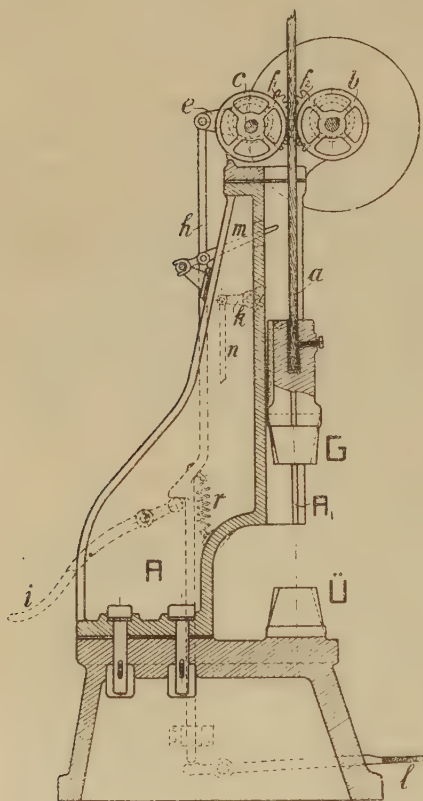
Régebben a kisiparban e nyeles kalapácsok igen el voltak terjedve, mert üzemük vízikerekekkel fenntartható, ma azonban, mert az efféle vízikerekek hasznosítás-foka csekély, e berendezés nem igen szokásos. A transzmissziós hajtású farkas kalapácsokat azonban bogrács és üst gyártásánál ma is használják.

E nyeles kalapácsok szokásos súlya (*G*), a percnkénti ütés száma (*n*), az esés magassága (*H*), továbbá a kalapács sebessége (*v*) az ütés pillanatában a következő:

A kalapács rendszere	<i>G</i> kg	<i>n</i> percnként	<i>H</i> m	<i>v</i> másodperc
Farkas kalapács	50 ~ 300	100 ~ 400	0,15 ~ 0,5	2—3
Mellkalapács	200 ~ 700	80 ~ 100	0,5 ~ 0,6	3—4
Fejes kalapács	3000 ~ 7000	40 ~ 70	0,3 ~ 0,45	2,5 ~ 3

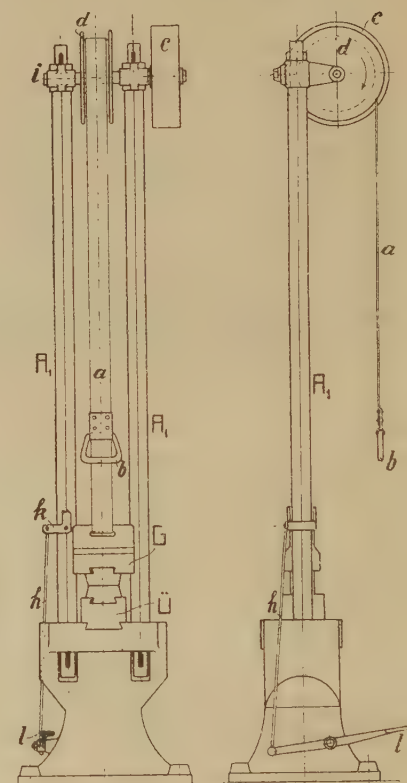
166. Az oldható kapcsolat másféle szerkezetét a 80. ábra mutatja, ezt léces *frikciós kalapácsnak* nevezzük. Ennél a *G* kalapács tömege

a léccel van felszerelve, amely b és c folyton forgó hengerek közé nyúlik. E hengerek csapjai excenteres csapágycsészékben vannak elhelyezve, amelyek az állványban az e karral kapcsolt f_1, f_2 fogazott szegmensekkel elforgathatók. Az i vagy l kar letolásakor a hengerek egymáshoz közelednek és maguk közé szorítják a lécet, forgásuk irányában magukkal viszik s ezzel a G súlyt emelik mindaddig, míg ez az m karba ütközik.



80. ábra.

Lécnyelű frikciós kalapács.



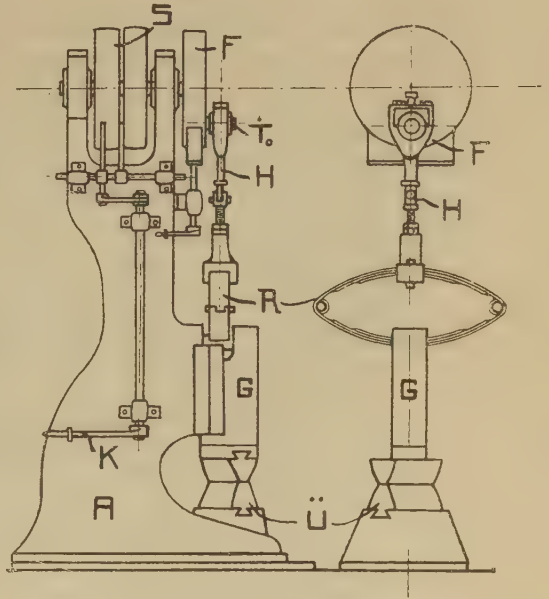
81. ábra.

Hevederes frikciós kalapács.

Ekkor az e, h rúd ellenkező mozgást nyer, miért is a hengerek egymástól távolodnak, a léccel szabaddá válik és a G tömeg szabadon eshetik.

E kalapácsot azonban rendszerint csak formás kovácsoláshoz használják. Hogy a tárgy az alakverő és alakmás közé elhelyezhető legyen, a felemelt G súlyt a magasban a k kilinccsel alátámasztják s így az felemelt helyzetében mindaddig marad, míg a k kilincset az n rúddal ki nem mozdítják. Az ilyen ejtőművek esésmagassága 1—1,6 m. szokott lenni, az ütés pillanatában tehát a szerszám sebessége 4—5 méter; a formás kovácsolás ily sebességgel a 145. pontban kifejtett okból jól halad.

167. A frikciós kalapács G tömegét fanyél helyett hevederrel is elláthatjuk, amint ezt a 81. ábra mutatja. E kalapácsot *hevederes frikciós kalapácsnak, hevederes ejtőműnek* szokás nevezni. Szerkezetének lényege a következő: A G kalapács az A egyenes vezetékben mozog, ezért az alakverő fejrészként használható. Ilyenkor az alakmást az $Ü$ üllővel kapcsoljuk. A kalapács a hevedere a folyton forgó D dobon át az ellenkező oldalon lenyúlik s a b markolatban végződik. Ha a b markolatot a munkás meghúzza, a heveder a hengerrel surlódik s a G tömeg felemelkedik. Amint a munkás a heveder markolatát elengedi, a G tömeg leesik. Ez a rendszer is csak formás kovácsolásnál nyer alkalmazást. Hogy tehát a tárgy az alakmásba kellően elhelyezhető legyen, a G tömeg felemelt helyzetében a k kilincscsel rögzíthető. Az emelkedés magassága ez esetben $1\sim 1,6$ m.

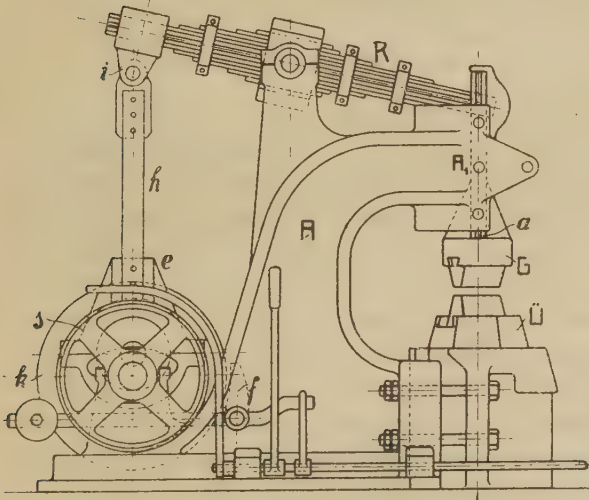


82. ábra.
Rúgós kalapács.

168. Az eddigiekben az oldható kapcsolatot tárgyaltuk, a követ-

kezőkben a rugalmas kapcsolatot ismertetjük. Ennek lényege az, hogy a kalapács és a hajtószerkezet közé rugalmas anyagot helyezünk. Ez a rugalmas anyag lehet acélból készült lemezrugó, amelyet a 82. ábrán látott módon a kalapács tömege (G) és a H tolórúd közé helyezhetünk el s ekkor azt *rugós kalapácsnak* nevezzük.

E kalapács lényege a következő: A kicserélhető fejrészekkel felszerelt G kalapács-tömeg az A állvány-nyal kapcsolt egyenes vezetékben mozgatható; a moz-

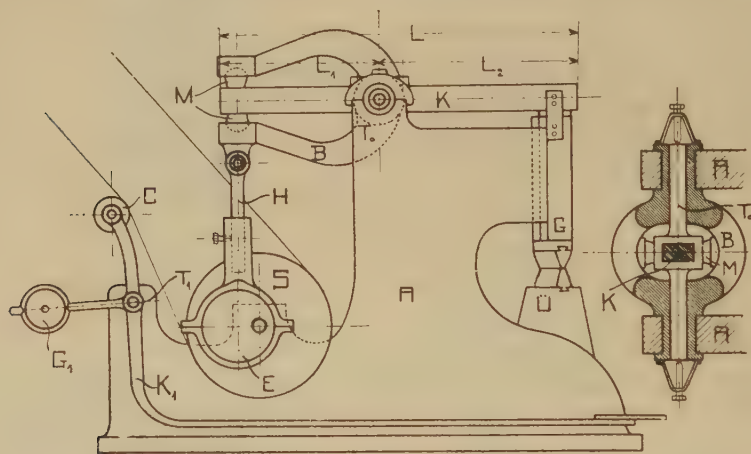


83. ábra.
»Ajax« kalapács.

gatást az R rugó közbeiktatásával az F forgattyú-tárcsához kapcsolt H tolórúd végzi. Az F tárcsa tengelye laza és ékelt S szíjdobbal van felszerelve. A szíjat a K karral kapcsolt szíjvezetővel irányítjuk. A kalapács ütésének hatályát az F tárcsára ható fékkel gyöngíthetjük.

169. Az acélrugót lehet a 83. ábrán látozott módon is elrendezni, t. i. az R rugót kétkarú emelőként használjuk fel, amelynek egyik vége a G kalapácsnak egyenesen vezetett a nyelével van kapcsolva, másik vége pedig az e excenterrel mozgatott h tolórúddal. Az e excenter tengelye s laza és ékelt szíjdobokkal és az k fékező tárcsával van ellátva. Ezt a szerkezetet *Ajax*- vagy *Schmidt*-féle rugalmas nyelű kalapácsnak nevezzük.

170. A kétkarú emelőt lehet fából is készíteni, amint azt a 84. ábra mutatja, de akkor az emelőkar a kalapács tömegével és a forgattyúval



84. ábra.

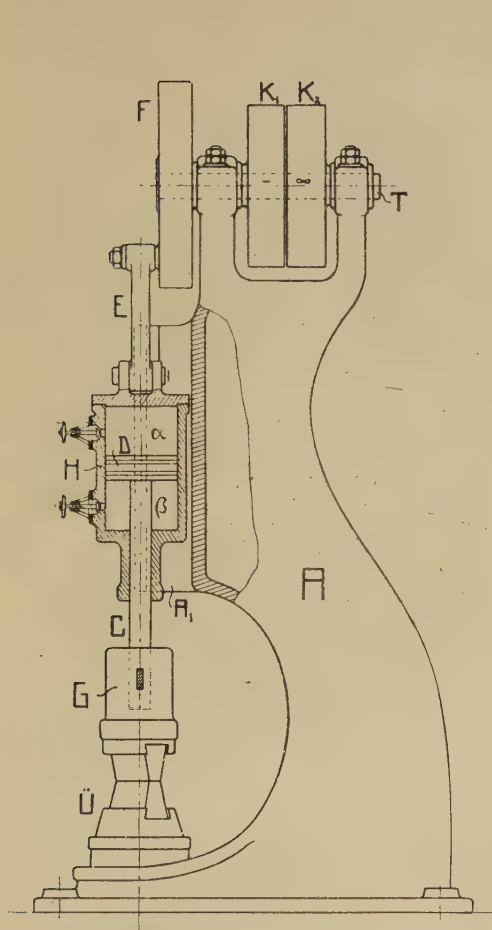
Amerikai rugalmas kapcsolatú nyeles kalapács.

kaucsukütközők útján áll kapcsolatban. Ezt a szerkezetet *amerikai nyeles kalapácsnak* mondjuk. Lényege a következő: Az egyenesben vezetett kalapács (G) kaucsukütközők útján a K kétkarú emelő egyik végéhez van erősítve. Ez emelő másik vége a B kengyel útján, amelyben az M kaucsukütközők vannak elhelyezve, a H tolórúddal s E excenterrel áll kapcsolatban. Az M kaucsukütközők kopásának elkerülése céljából kívánatos, hogy a B kengyelnek forgástengelye összeessék a K emelőkar forgástengelyével, ezért a B csapja csőalakú, ebbe nyúlik bele a K csapja, amely az oldalmozgások kiküszöbölése céljából állító csavarokkal is fel van szerelve, amint azt a 83. ábra jobboldali részletrajza mutatja. E szerkezetnél az ütések ereje a hajtószíj feszítésének változtatásával módosítható, még pedig a K_1 karral mozgatott C feszítőkorong segítségével.

171. Rugalmas kapcsolat céljából a kalapács tömege és a transzmisszió által hajtott tolórúd közé levegőt tartó dugattyús hengert is.

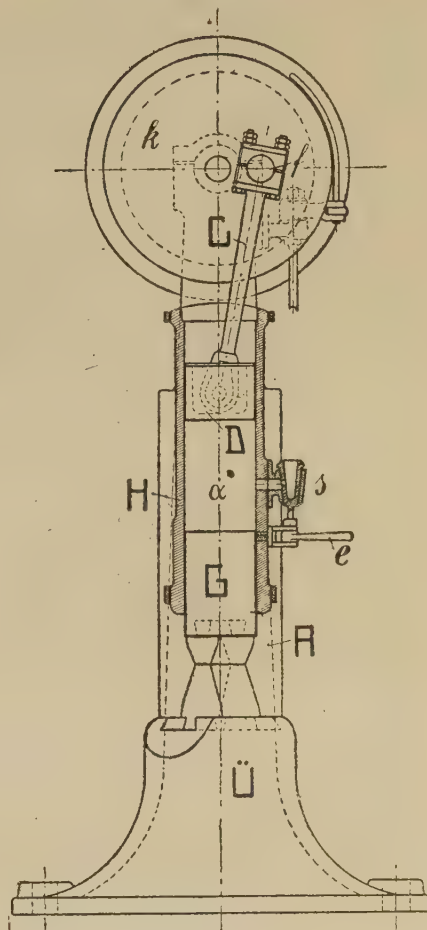
helyezhetünk el. Az ilyen szerkezetű kalapácsot *légpárnásnak* vagy *pneumatikusnak* szokás nevezni. A légpárnát biztosító henger elhelyezése különböző lehet.

A *Schmid-féle pneumatikus kalapácsnál*, amelyet a 85. ábra mutat, a henger mozgathatóan van elrendezve. Az $\ddot{U}$ állőre támaszkodó G kala-



85. ábra.

SCHMID-féle pneumatikus kalapács.



86. ábra.

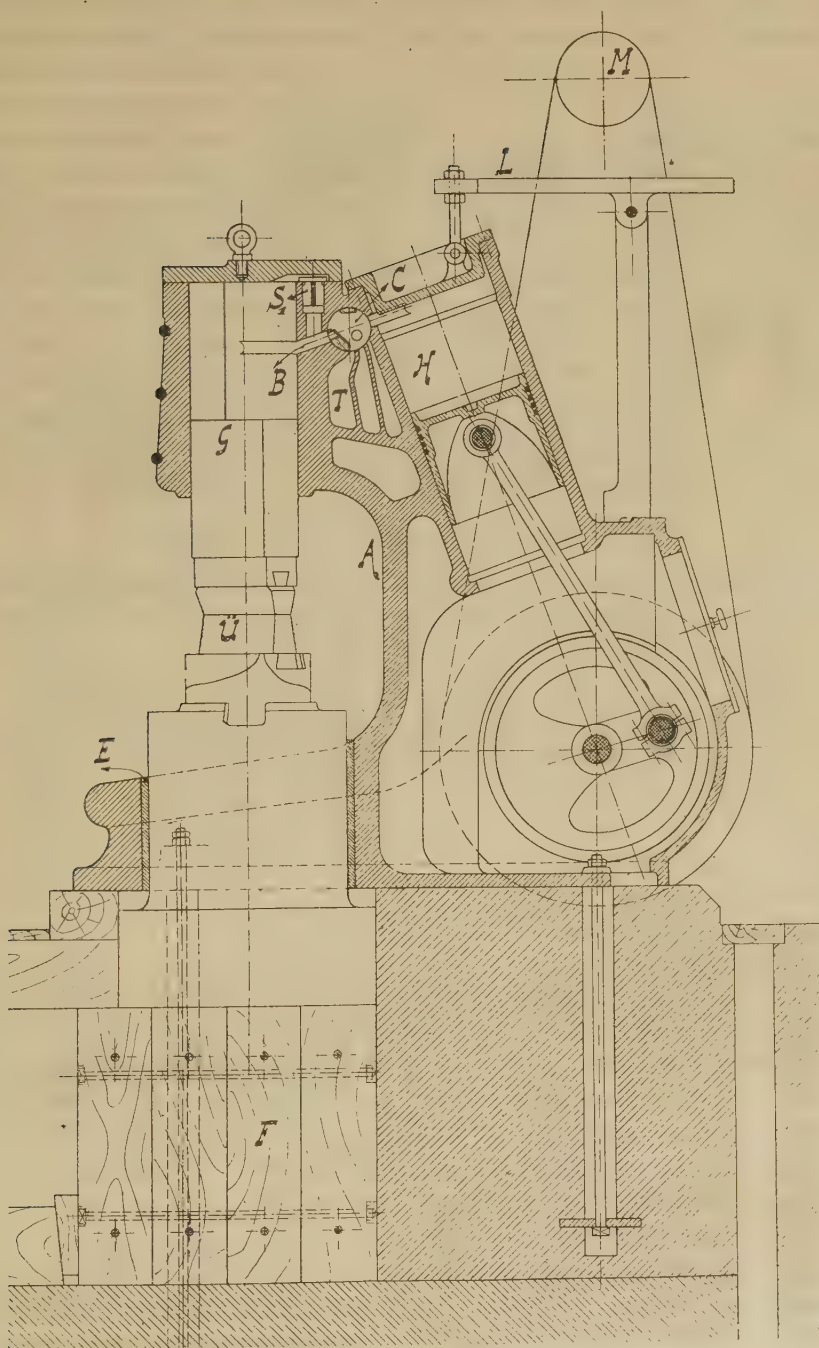
ARNS-féle légpárnás kalapács.

pács tömege közvetlenül a C dugattyúrúddal s így a dugattyúval is össze van kötve, a H henger pedig, amely az A állvánnyal kapcsolt A_1 vezetékek útján egyenesben vezettetik, az E tolórúddal áll kapcsolatban. A tolórúdat az F tárcsához erősített forgattyúcsap mozgatja. E szerkezetnél a dugattyú fölött van az α -val jelölt és alatta a β -val jelölt légtér, mindkettő a rajzban látható módon szelep által a külső levegővel összeköthető, vagy attól elzárható. Ha a tolórúd felfelé haladtában a β -tér

szelepét kinyitjuk, a kalapács mindaddig nem emelkedhetik, míg a dugattyú a henger fedőjével érintkezésbe nem jó, de ha a szelepet ez időszakban zárva tartjuk, a β -térben lévő levegő, miután kellőleg sűrűsödött, felemeli a kalapácsot. A tolórúd lefelé haladáskor az α -tér szelepét kell szabályoznunk, ha ugyanis az ütközés pillanatában az α -tér szelepét elzárjuk, a β -tér szelepét pedig nyitva tartjuk, az α -tér levegőjének sűrítése után az egész hajtómű mozgási energiáját a kalapács G tömegével közli, ha pedig az α -tér szelepét is nyitva tartjuk, akkor csak a G tömegben felhalmozott mozgási energia fejt ki ütest.

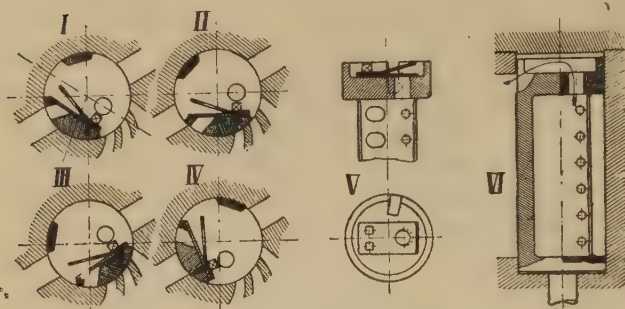
172. Lehet a légpárnát úgy is létesíteni, hogy a hengert szilárdan állványozzuk és abban két dugattyút helyezünk el, amelyek közül az egyik a kalapács tömegével, a másik a forgattyúrúddal áll kapcsolatban. Az *Arns-féle pneumatikus kalapácsnál*, amint a 86. ábra mutatja, a henger mozdulatlan, benne két dugattyú van: az alsó a kalapács tömegével, a felső a tolórúddal áll kapcsolatban. E két dugattyú között levő légtér C szelepe szabályozható. Ha azt a tolórúd felemelésekor kinyitjuk, a kalapács tömege nem emelkedik, de ha akkor elzárjuk, a légritkítás következtében a kalapács felemelkedik. Ha lemenetkor nyitjuk ki, a kalapács tömege szabadon esik le, ha elzárjuk, az α -térben a levegő kellő sűrítése után az egész szerkezet tömegében felhalmozott mozgási energia a kalapács tömegére vittetik át.

173. Az *Arns-féle kalapács* egyik módosítása az *Yeakley-féle légpárnás kalapács*, amelyet a 87. ábra szemléltet. Ennél ugyanis az *Arns-féle* légtér két részre van osztva s e hengerrészek tengelyei közel 150° -kal vannak egymástól eltolva. A kalapács tömege az A állvánnyal kapcsolt függélyes elrendezésű hengerrészben mozog, ennek légtere a C szelep közbevetésével a ferdén elrendezett H henger légterével áll kapcsolatban. Ez utóbbi hengerben a forgattyúval és tolórúddal kapcsolt dugattyú mozog, amely a levegőt külön szelepen át szívja, azt sűríti és a sűrített levegőt a C szelep állásához képest vagy a B csatornán át a G fölötti térbe, vagy pedig a T tartályba vezeti, esetleg részben a B csatornán át a hengerbe, részben a tartályba juttatja. Ez elrendezéssel az ütés ereje tág határok közt módosítható. A sűrített levegő elosztását a 88. ábra I–IV. képei mutatják, míg a 88. V. és VI. képei a H térnek a G fölötti térrel való oly kapcsolódását szemlélteti, amely a sűrített levegőnek csak a G fölötti térbe való bejutását teszi lehetővé, de onnan a szívás időszakában ki nem mehet, mert a B csatorna a C szeleppel állandóan zárva marad. A sűrített levegő tehát a C szelepnek tengely-irányú furatán csapdaszerű szelepen át jut a kalapács fölé, azt sűrített állapotánál fogva állandóan az üllőhöz szorítja s így a kalapács és üllő közé helyezett tárgyat erősen fogja, úgy, hogy az a végére gyakorolt ütésekkel meghajlítható.



87. ábra.
YEAKLEY-féle légpárnás kalapács.

174. A kalapács tömegét állandó kötással is lehet a transzmisszióhoz kapcsolni, amint azt a 89. ábra mutatja. Az ilyen gépet *kovácsológépnek* nevezük. Minthogy e szerkezetnél az ütések a transzmisszióra vittetnek át, ez csak



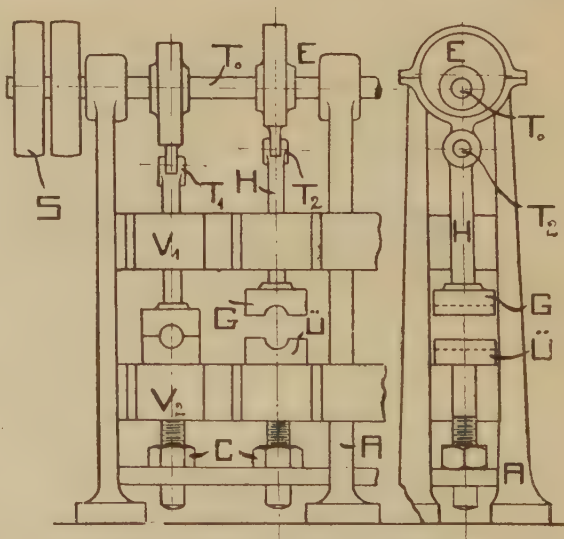
88. ábra.

A YEAKLEY-féle légpárnás kalapács szabályozó szelepének hosszanti és keresztmetszete.

kis munka kifejtésére alkalmas, ezért kisméretű tárgyak tömeges gyártására használják. A kalapácsnak egyenes irányú vezetéssel ellátott *H* nyelét az *E* excenter tartja mozgásban, de mert ennek a kilengése állandó, az *Ü* üllőt kell a tárgy vastagsága arányában a *C* csavarokkal beállítani.

γ.) A motorikus kalapácsok vagy gőzpörölők.

175. A gőzpörölők közös jellemzője, hogy a kalapács tömege közvetlenül a gőzhengerben mozgó dugattyú rúdjaival áll kapcsolatban. Leggyakrabban használt alakját a 90. I. ábra mutatja, amelyet *Nasmyth-féle* gőzpörölőnek nevezünk. Ezt az jellemzi, hogy a kalapács (*G*) nagy tömegű s ez nagy magasságból esik le, ezért szerkezeti magassága is nagy s ez a szerkezet állékony-sága szempontjából hátrányos. E hátrányt háromféle módon lehet csökkenteni. NILLUS, amint a 89. II. ábrán látható, a szerkezeti magasságot azáltal csökkentette, hogy a kalapács tömegét hengerköpenyszerűen szerkesztette; CONDIE ellenben a kalapács tömegét használja gőzhengernek, amint azt a 90. III. ábra mutatja; VOISIN pedig, amint a 90. IV. ábrán látjuk, úgy oldotta meg a feladatot, hogy a pörölő tömegét két gőzhenger közé helyezte el.



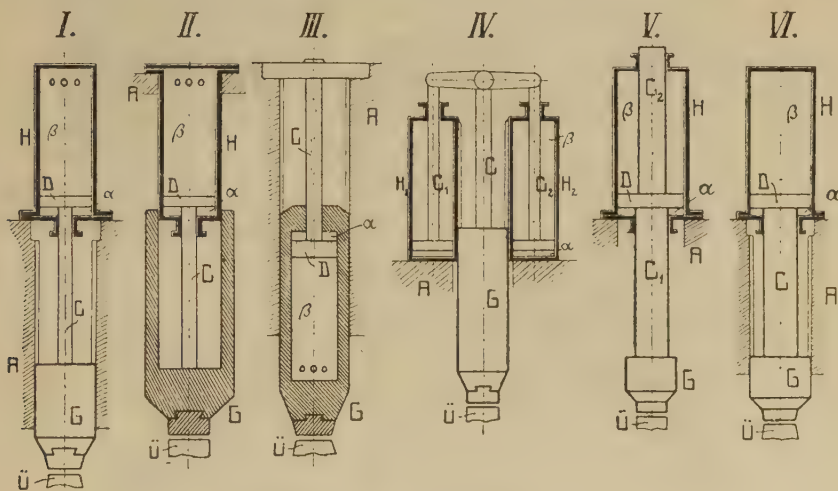
89. ábra.

Kovácsoló-gép.

Mind a négy rendszerű pörölő lassan jár, tehát tömörítésre hasz-

nálják A gőz csak a tömeg-emelésére szolgál, ezért csak az α -térbe hatol, míg a β -tér a külső levegővel áll kapcsolatban. E pörölők nagy tömegek alakítására használatnak, miért is az állványt úgy szerkesztik, hogy az üllő minden oldalról hozzáférhető legyen.

Kisebb tömegek alakításához olyan alsó- és felső gőzzel működő pörölők használatosak, amelyeknél az üllő csak három oldalról hozzáférhető, mert az állvány az üllőt magába zárja. Régebben 90. V. ábrán látott *Morisson-féle kalapácsot* használták, amelyet az jellemez, hogy a dugattyúrúd a gőzhenger mindkét fedelén áthalad és oly vastag, hogy az üllő tömeg legnagyobb részét ez alkotja. E helyett most a 90. VI. ábrán látott *Daelen-féle rendszer* használatos, melynél a dugattyúrúd csak az egyik



90. ábra.

A gőzpörölők módosulatai.

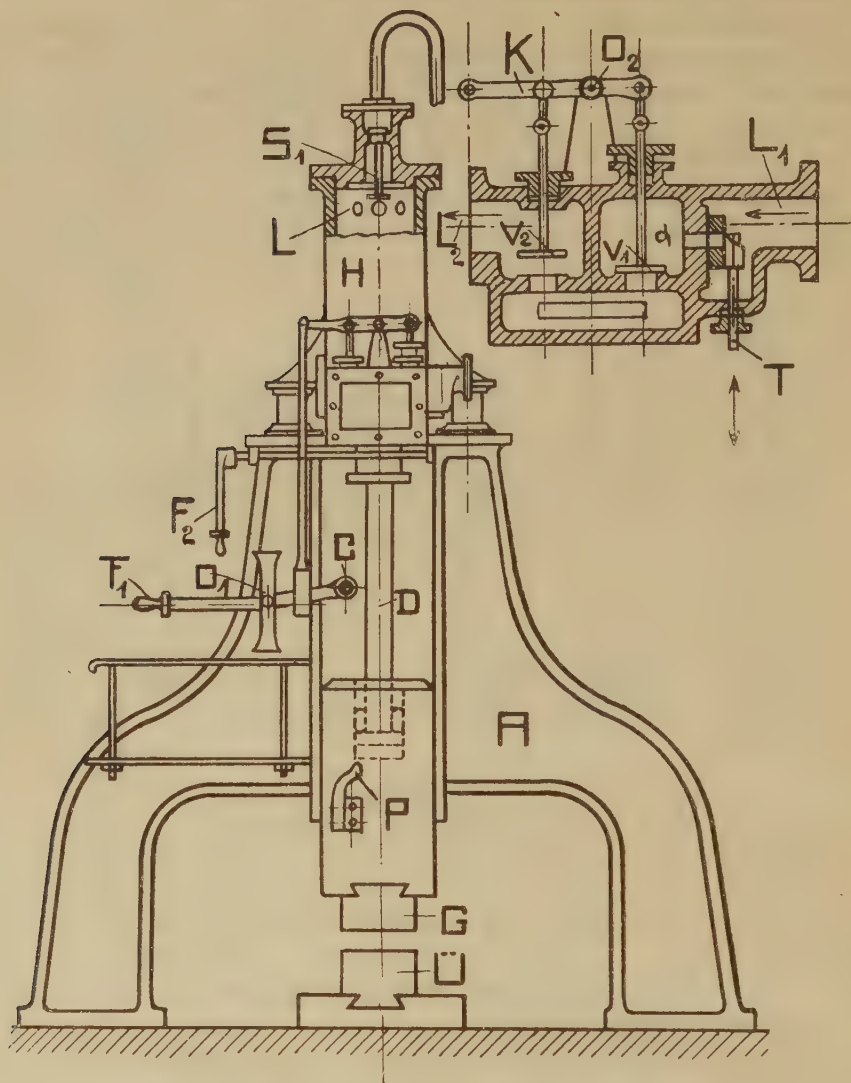
I. Nasmyth-, II. Nillus-, III. Condie-, IV. Voisin-, V. Morisson-, VI. Daelen-féle.

fedőn halad át, pörölvének tömege ennélfogva nagyobb, mint a MORISSON szerkezeténél.

A következőkben a *Nasmyth-* és a *Daelen-féle pörölők* vázlatos elrendezését fogjuk ismertetni.

176. A *Nasmyth-pörölő*, melyet a 91. ábra mutat, következő elrendezésű: A kicserélhető fejrésszel felszerelt G pörölőtömeg a D dugattyúrúd segítségével dugattyúval áll kapcsolatban, amely a H hengerben mozog. A D dugattyúrúd a G tömeggel ék segítségével oldhatóan van kapcsolva. A henger az A állványra támaszkodik; a G tömegnek egyenes vezetéket az A állvány alkotja, amely bakszerűen van szerkesztve, hogy az üllő minden oldalról hozzáférhető legyen. Minthogy a H hengerbe a gőz csak a dugattyú alá vezetendő, ez a tér oly szelepszekrénnel áll összeköttetésben, amelyben mint a 91. ábra felső vázlatából kitűnik, két szelep van,

s ezek a K , D_2 kétkarú emelővel mozgathatók. A gőz bevezetésére a v_1 szelep szolgál. A gőz az L_1 csőből a T tolattyú által szabályozható nyíláson át az α -térbe jut, onnan, ha v_1 felemelkedett, a hengerbe tódul.



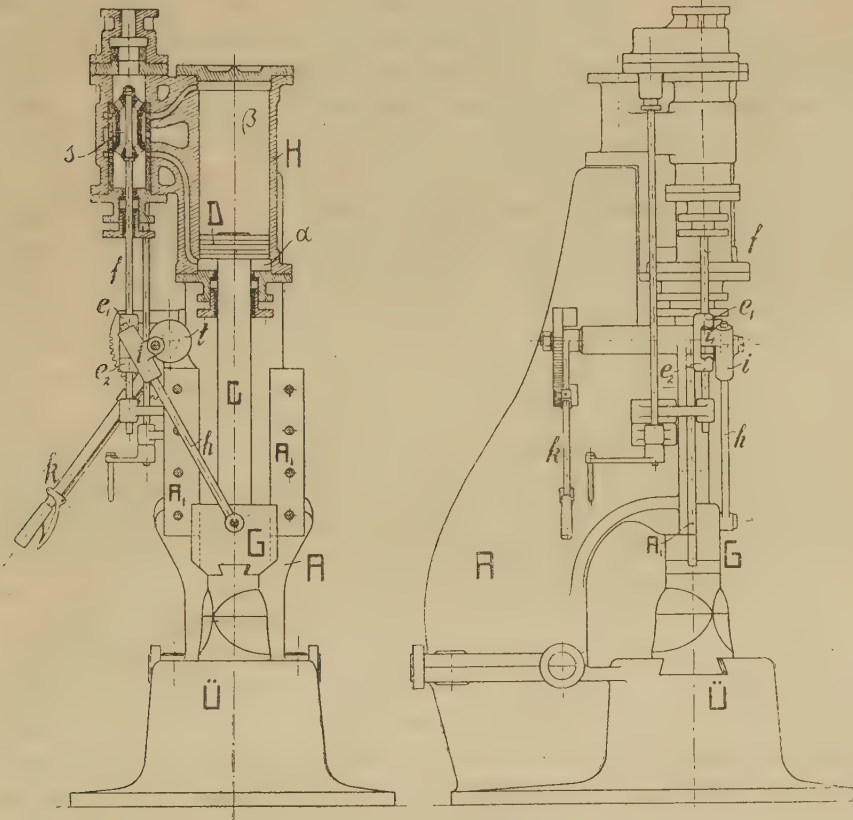
91. ábra.

NASMYTH-féle gőzpörölly.

A hengerből a fáradt gőz a v_2 szelepen át az L_2 csövön a szabadba mehet. A szelepek szabályozása a K , D_2 kétkarú emelőnek az F_1 emeltyű útján való mozgatásával történik. Hogy a dugattyú fölötti térben a levegő ne sűrítettessék, a henger felső részén több nyílás van és hogy túlságos a dugattyú emelése következtében a fedőbe bele ne ütközzék, a fedőben

a gőzvezetékkel kapcsolt s_1 szelep van, amelynek rúdja a hengerfuratokig mélyed. A K kar mozgása a tolórúd útján történik, ezt a mozgást pedig az állványra szerelt hídon álló munkás az F_1 kétkarú emelővel végzi. A gőz bevezetését azonban a kalapács tömegén lévő P ütköző az F_1 emelő kar C toldata útján zárja el.

A pörölynél az ütések hatálya zérustól GH -ig fokozható és pedig



92. ábra.

DAELEN-féle gőzkalapács.

részt a gőzbevezetés, azaz az emelkedés magasságának változtatásával, részt azáltal, hogy a G tömeg esése közben ellengőzt bocsátunk be.

A tömörítésre és alakításra használt pörölyök súlya: $G = 10 \sim 25 \sim 50$ tonna; ezek esési magassága: $H = 1,5 \sim 2,5$ m; az ütközés pillanatában a maximális sebesség: $v = 5,4 \sim 7$ m/sec. A hegesztéshez használt pörölyök súlya: $G = 1,5 \sim 2$ tonna, ezek esési magassága: $H = 1 \sim 1,5$ m és ütközéskor sebességük: $v = 4,4 \sim 5,4$ m/sec.

177. A Daelen-gőzkalapács elrendezését a 92. ábrán látjuk. A G kalapács tömege A_1 vezetékeiben a C dugattyúrúd és a D dugattyú által fel

és le mozgatható. Ha ugyanis a gőzt az s elosztó szerkezettel a dugattyú alatt levő α -térbe bocsátjuk, a kalapács felemelkedik, de ha azt a dugattyú feletti β -térbe engedjük, a kalapács gyorsabban esik le a tárgyra, ép ezért az ütés hatása a β -térbe bocsátott gőz mennyiségével és annak feszültségével növelhető. Nehogy a dugattyú felmenetelekor a fedőt kiverhesse, a gőz-bevezető szerkezetet a G tömeg önműködően zárja el, még pedig a 92. ábrán látott h rúd és az e_1, e_2 ütközők segítségével.

E szerkezetnél az állvány az üllőt körülfogja, miért is az üllő csak három oldalról hozzáférhető. Ez teszi megokolttá a kalapács üllő-fejrésének 45° alatti elrendezését. Végül megjegyezzük, hogy a gőz-szabályozó szerkezet igen sokféle lehet és hogy a gyakorlatban a *Daelen-kalapácsokat* egyedül a vezérlő művek szerint nevezik el.

178. A kovácsolás eszközeit ismerve, határozzuk meg a kovácsolás szabályait és a reá fordítandó külső erő munkáját. A kovácsolás szabályait a harapás jelenségeiből és a kovácsoláskor megoldandó feladatból vezethetjük le. Feladatunk ugyanis abban áll, hogy a képlékennyé vált anyagot egyenletesen alakítsuk és hogy a külső munkát lehetőleg jól hasznosítsuk.

E célból szükséges, hogy az alakváltozás az egész keresztmetszetre kiterjedjen és hogy a fősíkok egyikében se legyenek kötöttségek. Ennek a követelménynek pedig a 48. és a 85. pontban elmondottak szerint a szerszám keskenyebb E oldalán átmenő fősíokban akkor teszünk eleget, ha a szerszámmal együtt haladó teknőszerű rész csúcsa legalább a tárgy δ vastagsága feléig ér le, de legfeljebb csak érinti a reakciós szerszámot, vagyis, ha a 68/a és 68/b képletek és 78. ábra szerint: $E \sim \delta_1 \operatorname{ctg} \beta \sim 2 \delta_1 \operatorname{ctg} \beta$, és ha $\delta_1 = \frac{1}{2} \delta$, az eredeti vastagsághoz képest $E \sim \frac{1}{2} \delta \operatorname{ctg} \beta \sim \delta \operatorname{ctg} \beta$ méretben veendő, de mert a szerszám b szélessége irányában áthaladó fősíokban a kötöttségnek még csekély az értéke, ha $b < 4 \delta_1 \operatorname{ctg} \beta$, ezért az eredeti mérethez képest: $b = \delta \operatorname{ctg} \beta \sim 2 \delta \operatorname{ctg} \beta$ határértékek közt választandó. E feltételeknek csak úgy tehetünk eleget, ha a kalapács és az üllő fejrését a tárgy vastagságának megfelelően méretezzük, miért is e fejrészeknek kicserélhetőeknek kell lenniök. Vastag tárgyra ható keskeny szerszám a tárgynak csak felületéhez közel fekvő részeit alakítja, amint az a 78. III. ábrából kitűnik. A 78. I. ábrából továbbá az is kitetszik, hogy a szerszám harapó hatása következtében a már alakított felületrészek is duzzadnak, miért is a kovácsolt tárgy vastagsága mindig nagyobb, mint amekkora az akciós és reakciós szerszám közötti távolság volt.

A pörölők használhatóságát percenként végzett ütésszámuk is befolyásolja. Minél vastagabb a tárgy, annál több időt igényel annak az üllőn való elhelyezése, ezért vastag tárgyakat lassabban járó pörölőkkel kell kovácsolni. Kísérleti adatok szerint a transzmissziós kalapácsok ütésszámának a tárgy vastagságával a következő viszonyban kell állania:

$$n = \frac{2000}{\sqrt{\delta_{mm}}} \quad (165.)$$

Továbbá az is szükséges, hogy a kalapács tömegében nagyobb mennyiségű mozgási energia legyen felhalmozva, vagyis, hogy az nagyobb sebességgel ütközzék a tárggyal. Transzmissziós kalapácsoknál ezért a kalapács tömegének közepes sebességét $v = 1,5 \sim 1,6 \text{ m/sec}$ -nek vesszük. Transzmissziós kalapácsok sebességét az ütésszámmal (n) és a szerszám s -útjával a következően fejezhetjük ki:

$$v = \frac{2n}{60} s. \quad (166.)$$

Ez összefüggésből kiszámíthatjuk a szükséges utat (a szerszám emelkedésének magasságát). Ez ugyanis a 165. és 166. képletek egybevetésével a következő képlettel fejezhető ki:

$$s = 0,015 v \sqrt{\delta_{mm}}. \quad (167.)$$

A percenkénti ütések számát ismerve, a transzmissziós kalapácsok hajtásához szükséges energia, vagyis a minden ütés alkalmával a legyőzendő *belső munka* a 163/b. képlet szerint a következő:

$$\mathfrak{M}_B = K \cdot q_{sz} \cdot 2,3 \lg \frac{\delta}{\delta_1}.$$

Ennek legyőzéséhez ugyanekkora *külső munka* kell, mert $v = 1,6 \text{ m-es}$ ütközési sebesség mellett a 145. pontban említett KICK-féle kísérleti tapasztalatok szerint feszültségváltozás alig vehető észre, ennélfogva tehát:

$$\mathfrak{M}_K = \mathfrak{M}_B = K \cdot q_{sz} \cdot 2,3 \lg \frac{\delta}{\delta_1}. \quad (168.)$$

E képlet az egy ütéshez szükséges munkát adja, amelyet a kalapács a fel- és leszálláshoz szükséges $t_f + t_l = \frac{60}{n}$ idő alatt fejt ki. Ha tehát a 168. képlet értékét ez idővel osztjuk, az időegységben kifejtett munkát mkg -ban kifejezve kapjuk meg, ha pedig ez utóbbi számértéket 75-tel elosztjuk, a lóerőkben kifejezett munkát kapjuk.

Ennélfogva a lóerőkben kifejezett kovácsolási energia:

$$N = \frac{\mathfrak{M}_K}{(t_f + t_l) 75} = \frac{K_{cm^3} q_{sz} n 2,3 \lg \left(\frac{\delta}{\delta_1} \right)}{60 \cdot 75}. \quad (169.)$$

Számítsuk ki, hogy e képlet szerint $\delta = 100 \text{ mm}$ vastag négyszögkeresztmetszetű lágyvasnak 1000° C-on való kikovácsolásához mekkora munka kell. Minthogy hideg lágyvas keménysége $p_e = 34 \text{ kg/mm}^2$, így $q_{sz} = 3 \times 34 \times 0,05 = 5,1 \text{ kg/mm}^2$ és mert az előbbieket szerint a legkisebb $E = \frac{1}{2} \delta \text{ ctg } \beta$ és a tárgy $\square$ alakjánál fogva $b = \delta = 100 \text{ mm}$ vagyis.

mert $K = E\dot{\gamma}^2 = 400 \text{ cm}^3$, a szükséges hajtó energia, ha egy ütéssel a vastagság változását $\frac{\partial}{\partial_1} = 1,15$ -re vesszük:

$$N = \frac{400 \cdot 5,1 \cdot 100 \cdot 2,3 \cdot 0,056}{60 \cdot 75} = 5 \sim 6 \text{ LE.}$$

Ez az érték a gyakorlati adatokkal teljesen megegyezik.

Mótorikus kalapácsoknál, ha a gőz csakis a súly emelésére használtatik, vagyis ha a kalapács tömege szabadon esve fejt ki munkáját: $2\mathfrak{M}_K = G \cdot s$. Minthogy a dugattyú emelési magasságát (s) a gőzszabályozóval tág határok közt változtathatjuk, ezzel tehát az ütésszámok is megváltoznak, ezért gőzpörölőknél nem az ütésszám, hanem az ütés sebessége a mértékadó. Szabad esésnél az ütés pillanatában a test sebessége: $v = \sqrt{2gs}$. Hogy az izzó vas gyors lehűlését megakadályozzuk, a sebességet $v = 4 \sim 6 \text{ m/sec}$ közt kell választanunk; de ha a sebesség határértékeit felvesszük, ezzel az esés magasságát korlátozzuk. Ha például

$$v = 4,5 \text{ m/sec, akkor } s = \frac{v^2}{2g} = \frac{4,5^2}{2 \cdot 9,81} = 1 \text{ m.}$$

Az esés magasságát ismerve, az ennek megfelelő ütésszámokat a leeséshez szükséges időből számíthatjuk ki. Minthogy $s = \frac{1}{2} g t^2$, ezért

$t_l = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ és ha feltesszük, hogy az emelés ideje t_f egyenlő a leesés idejével, a t_l -el, vagyis, ha $t_l + t_f = 2t$, akkor az ütésszámok képlete is

$$n = \frac{60}{2t} = \frac{60}{\sqrt{s}}. \quad (170.)$$

Minden ütés alkalmával $2\mathfrak{M}_K = G \cdot s$ és így a 168. képlet szerint $G \cdot s = K_{cm^3} \cdot q_{sz} \cdot 2,3 \lg \left(\frac{\partial}{\partial_1} \right)$. E képlet segítségével kiszámítható a szükséges G tömeg, vagyis a kalapács, a dugattyú és a dugattyúrúd együttes tömege, mert ezek együttesen fejtik ki a munkát. Így például az előbbi példában felvett viszonyok közötti alakításhoz, ha $s = 2 \text{ m}$, $G = 258 \text{ kg}$. szükséges, amelynek $\frac{2}{3}$ része a kalapács, $\frac{1}{3}$ része pedig a dugattyú és dugattyúrúd tömegére oszlik.

A felső és alsó gőzzel működő kalapácsoknál a sebességet ugyanakkorára kell választanunk, mint a tisztán algőzzel működőknél, vagyis $v = 4 \sim 6 \text{ m/sec}$. Ámde most a sebességnek az esés magasságával való összefüggése: $v = \sqrt{2\gamma s}$. Az e képletben szereplő γ gyorsulás értéke azonban nagyobb g -nél, mert a leeső tömegre nemcsak a nehézségi erő hat, hanem a gőz átlagos P nyomó ereje is, ennél fogva: $m\gamma = P + G = \frac{G}{g}\gamma$, ebből a gyorsulás értéke:

$$\gamma = \frac{G + P}{G} g.$$

A gyorsulás számértékét ismerve, az s út megtételére szükséges idő:

$$t_l = \sqrt{\frac{2s}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2s}{g}} \sqrt{\frac{G}{P+G}} \quad (170/a.)$$

és ha feltesszük, hogy $t_l = t_f$, akkor a maximális ütésszám:

$$n = \frac{60}{2t} = \frac{60}{2\sqrt{\frac{2s}{g}}} \sqrt{\frac{G+P}{G}} = \frac{66}{\sqrt{s}} \sqrt{1 + \frac{P}{G}}. \quad (170/b.)$$

E képlet szerint azonos ütésszámok mellett a $\left(\frac{P}{G}\right)$ viszony növelésével a dugattyú s útja csökkenthető. A gyakorlatban a $\frac{P}{G}$ viszony számát nagyméretű pörölőknél $1 \sim 1,5$ -re, kisméretűeknél pedig $2 \sim 2,5$ -re veszik.

Minthogy a kalapács ütése az üllőre hat, ennek tömegét a kifejtett munkával arányosítjuk. Gyakorlati adatok szerint az arányossági tényező értéke: 10. Az üllő súlya tehát:

$$\ddot{U}_{kg} = 10 \cdot (G + P)s = 10 \cdot K_{cm} q_{sz} 2,3lg \frac{\delta}{\delta_1}. \quad (171.)$$

Nehogy a kalapács által kifejtett ütések következtében a szerkezetben káros feszültségek keletkezzenek, az üllőt az állvánnyal nem készítik egy darabból, sőt az üllőt különállóan is alapozzák és az állvány legeljeljebb csak vezetékekül szolgál. Az épületek rengését csökkenthetjük, ha az üllőt hossz- és keresztirányú fadúcokra helyezzük, mert a fa rugalmas alakváltozásánál fogva tompítja az ütések hatását s ezzel csökkenti a talajnak és a rajta levő épületeknek rengését. Mindezen óvatossági intézkedések dacára nagyobb pörölők ütése által okozott rengés 100 méter körzetben is érezhető s ez okból azok felállítása hatósági engedélyhez van kötve.

β) A sajtók.

179. A kalapácsoknak azt a hátrányát, hogy ütéseik következtében az épület rengésbe jön, a sajtókkal teljesen ki lehet küszöbölni.

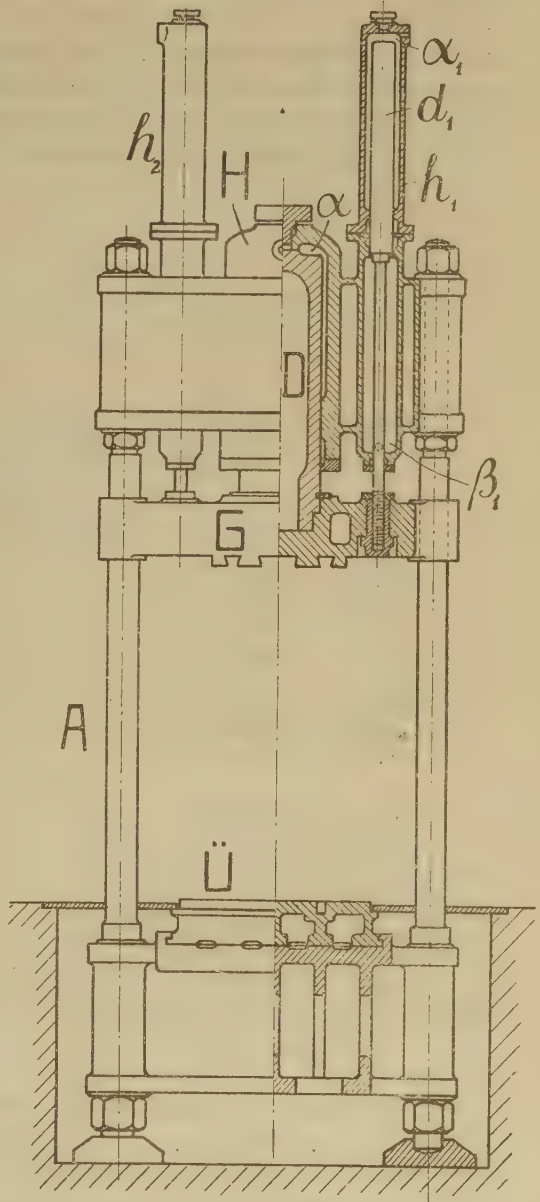
A szerszám haladása sebességét alakos tárgyak sajtolásakor a 145. pontban kifejtett okból legalább 100 mm/sec-ra kell venni. Ez az érték vékony tárgyak sajtolása esetén 150—200 mm/sec-ra növelhető, igen nagyfokú alakítás esetén pedig, ha például tömör dúcból vastagfalú edényt akarunk sajtolni, a sajtolóköldök sebessége $v = 700 - 1000$ mm/sec határok közt változik. A szerszámnak e kívánt sebességet csavarral, folyadék-nyomással, vagy pedig sűrített levegővel adhatjuk meg; az első esetben a gépet *csavarsajtónak*, a másodikban *hidraulikus sajtónak*, a harmadikban pedig *pneumatikus sajtónak* nevezzük.

kal, t. i. a H_1 -gyel, az L lábitó van kapcsolva. Ha az R rugó hatása érvényesül, akkor az F_2 tárcsa jut érintkezésbe a D koronggal, ha pedig az F_1 -gyel akarjuk az érintkezést létesíteni, akkor a H_1 karhoz kapcsolt L lábitóval ellensúlyozzuk a rugó hatását. Amint a szerszám a sajtolást befejezte, vagyis, amint az az alakmáshoz képest az előre meghatározott helyzetbe jutott, a szerszám az i_2 pecek segítségével a H_2 kart lenyomja, tehát ezzel a lábitó hatását megszünteti, mire az R rugó működésbe lép és a B csavar azonnal ellenkező irányban kezd forogni.

A szerszám haladásának sebessége: $v = 150 - 200$ mm/sec szokott lenni, útja pedig: $200 - 250$ mm/sec.

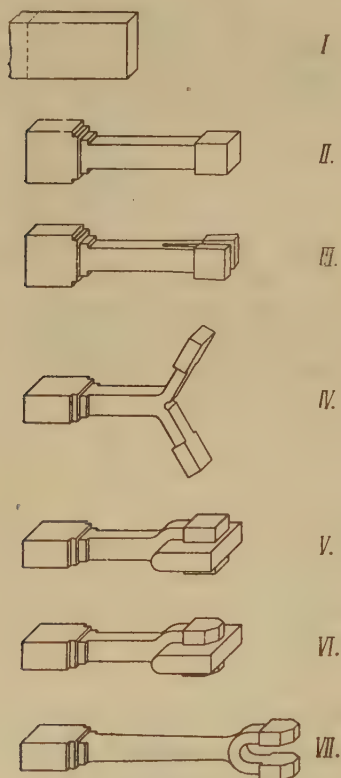
182. Nagyobb méretű tárgyak sajtolásához a *hidraulikus sajtót* használják, melynek alakját a 95. ábra mutatja. Ennél a G szerszám függélyes irányban felülről lefelé halad, még pedig legalább $v = 150 - 200$ mm/sec sebességgel, sőt vastag falú edény készítésénél a $v = 700 - 1000$ mm/sec. A G szerszámot az állványt alkotó A oszlopok vezetik egyenes irányban.

A tárgy alakításához szükséges nyomást a G nyomólap közepével kapcsolatos D dugattyú fejti ki. Minthogy a D dugattyú a H hengerben csak az α folyadékteret alkotja, ennél fogva vele a szerszám csak letolható, de felfelé nem mozgatható. Ez utóbbi feladatot a 95. ábra szerint a d_1, d_2 dugattyúk teljesítik. Ezek ugyanis a h_1, h_2 hengerekben az α_1, β_1 és az α_2, β_2 folyadékterek között vannak így ezekkel a szerszám nemcsak le, hanem felfelé is mozgatható.



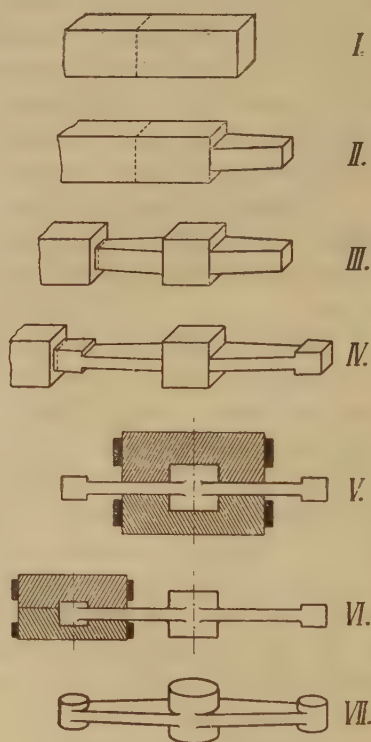
95. ábra.
Hidraulikus sajtó.

A kis hengerekbe vezetendő folyadéknak aránylag kisnyomásúnak kell lennie, mert a dugattyúkkal csak a szerszám súlyát győzzük le, ellenben a H hengerbe vezetett folyadék nagynyomású legyen, hogy az alakításhoz szükséges erőt kifejthesse. A hidraulikus sajtókat ez okból kétféle akkumulátorral kell felszerelni, t. i. egy nagy- és egy kisnyomásúval. A kisnyomású akkumulátor helyett magasabb fekvésű vízmedence is használható, a nagynyomású pedig lehet olyan gáztérrel kapcsolt akkumulátor, aminőt a 38. pontban már ismertettünk (lásd a 10. ábrát).



96. ábra.

Alakos tárgyak kovácsolásának sorrendje
E. PREGER szerint.



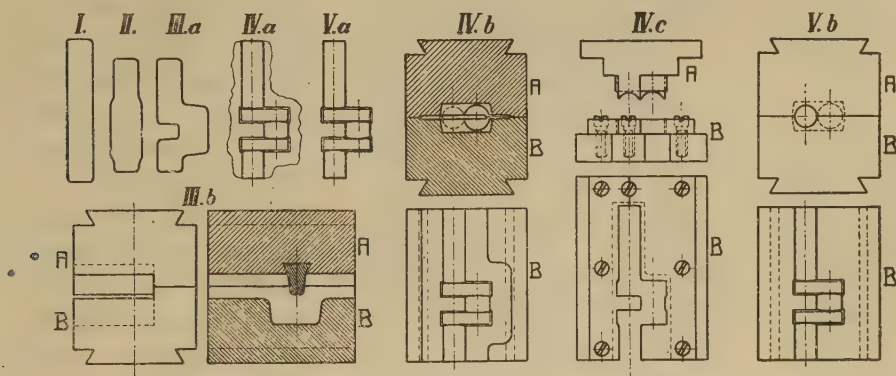
97. ábra.

Sajtolással párosult alakos kovácsolás
használatának módja E. PREGER szerint.

183. Alakos tárgyak sajtolásánál az alakverő és alakmás által okozott méretcsökkenés $\left(\frac{\delta}{\delta_1}\right)$ a kovácsolásnál megadott határértékeknél nagyobb nem lehet. Ha tehát ennél nagyobb fokú alakváltozás szükséges, akkor az alakítás fokozatosan kovácsolással, vagy pedig több alakverő és alakmás felhasználásával végzendő el. E fokozatokat — egyes példákra alkalmazva — a 96., 97. és 98. ábrákon mutatjuk be. A fokozatok tervezésekor rendszerint arra is kell ügyelnünk, hogy a tárgy anyaga az alakverő

és az alakmás közti üreget kitöltse, mert az anyagtöbblet az alakverő és az alakmás közé szorúl s a tárgyon peremet alkot, mely egyrészt gátolja a szerszám közeledését, másrészt anyagpazarlást okoz s elcsúfítja a tárgyat, miért is az a tárgyról utólag eltávolítandó.

A 96. ábracsoport szerint tolórudak gyártásánál a munka sorrendje a következő: A négyszög keresztmetszetű rúdvasat (l. 96. I. ábrát) a 96. II. ábra szerinti alakra kikovácsolják, azután az egyik végét (l. a 96. III. ábrát) befűrészelik, ágait melegen széthajlítják (l. 96. IV. ábrát) és a 96. V. ábrán látott magra reá lapítják. Az ilykép elkészült darabról a fölös anyagot levágják, hogy a tárgy a 96. VI. és 96. VII. ábrákon látott alakját nyerje. Ezzel az eljárással a tárgy felülete egyenlőtlen, azaz csak nagyolt, de ha pótlólag még formás alakverő és alakmás közt sajtoljuk, egyengetett felületűvé válik. Ezt a kombinált eljárást a 97. ábracsoport szemlélteti.



98. ábra.

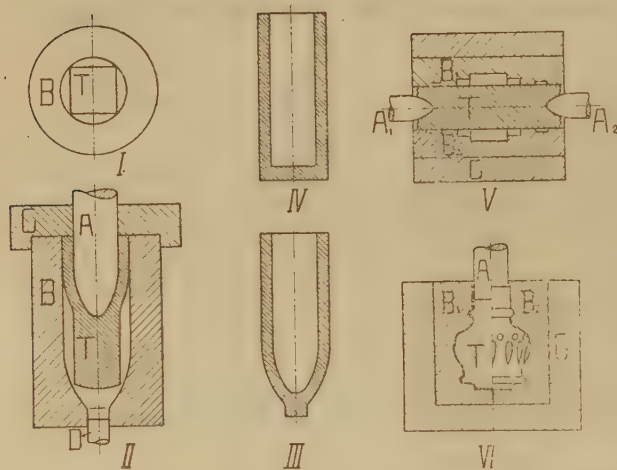
Görbített tengelyek sajtolásának sorrendje E. PREGER szerint.

A négyszögkeresztmetszetű rúdvasat (l. a 97. I. ábrát) ugyanis fokozatosan kikovácsolják a 97. II., 97. III. és 97. IV. ábrán látott alakra, ezután először a 97. V. ábra szerint annak középső részét, majd pedig a 97. VI. ábra szerint annak mindkét végét alakverő és alakmás közé helyezve sajtolják, minek folytán a tárgy a 97. VII. ábra szerinti alakot nyeri, s felülete ekkor egyengetett.

Formás alakú tárgyakat kizárólag sajtolással is készíthetünk. Az erre vonatkozó példát a 98. ábracsoport szemlélteti. A 98. I. ábrán látott rúdvasat ugyanis a 98. II. ábrán látott alakúvá duzzasztják, ezután a 98. III.b. jelű alakverő és alakmás segítségével a 98. III.a. alakra hajlítják, majd a 98. IV.b. jelű alakverő és alakmás közé téve sajtolják, hogy az a 98. IV.a. ábra szerinti alakot nyerje. A sajtolásnál képződő peremet — a gallért — a 98. IV.c. jelű lyukasztóval távolítják el, ezután pedig a 98. V.b. ábrán látott A alakverő és B alakmás segítségével a 98. Va. ábrán látható alakra sajtolják.

A görbített tengelyek most ismertetett készítésének módja jobb a régi

eljárásnál. Régebben ugyanis oly rúdvasból készítették a görbített tengelyeket, amelynek szélessége a forgattyúkarok hosszúságával volt egyenlő. A rúdvasat nem hajlították meg, hanem a szomszédos két forgattyúkar közötti rést kivágással állították elő. Ennél az eljárásnál a forgattyúkarok anyagának alakítása csekély, ezért az durva szemcséjű maradt s használat közben csakhamar kifáradt, kimerült, miért is az eféle tengelyek a forgattyúkarok mentén törtek el. Vastagfalú tartályok — aminők az ágyulövegek — sajtolással készülnek. Gyártásuk a következő: Az ingotot oly négyzetkeresztmetszetű rúddá hengerlik, amelynek átlója a készítendő löveg külső átmérőjének felel meg. A rudat azután akkora darabokra nyírják, hogy egy-egy darab súlya megfelelően a löveg súlyának. Ezeket izzó állapotban



99. ábra.

Lövegek és dísztárgyak sajtolásának módja.

a tárgy a 99. III. ábra szerinti alakra készítendő, az *A* szerszám vége, valamint az alakmás fenéke kúposra (l. a 99. II. ábrát) készül, ilyenkor az alakmás fenéke a hosszanti tengely irányában furattal is bír, hogy azon a *D*-vel jelzett rúd behatolhasson és a sajtolt tárgyat az alakmásból kiemelhesse, ha azonban a tárgy a 99. IV. ábrán látható alakra készítendő, az alakmás fenéke és az alakverő vége síklappal határolandó.

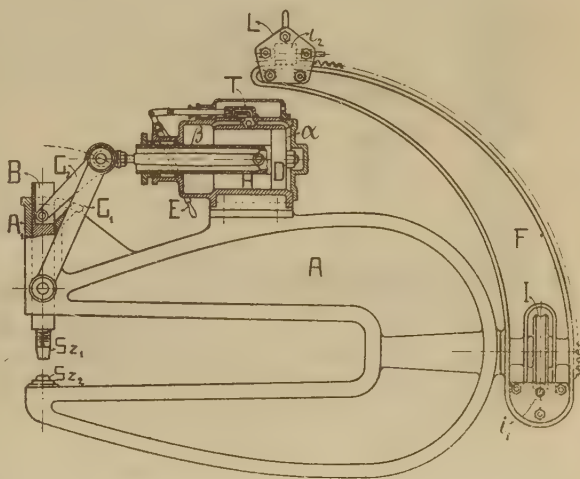
Különböző falvastagságú csövek a 99. V. ábrán látható *Merkader*-féle eljárással készülnek. Ekkor a kellő üreggel ellátott alakmás két részből áll, hogy a sajtolt tárgy belőle kivehető legyen. Az ábrából kitűnik, hogy a tárgyra egyidejűleg két szűrőszerszám hat t. i. az A_1 és A_2 , miért is a kisajtolt anyag az alakmás üregét kénytelen kitölteni.

Sajtolás útján lemezedények domború dísszel is elláthatók. E célból a 99. VI. ábrán jelölt *T* edényt ólommal töltik ki, hogy tömör tárgyként kezelhessék. Az edényben levő ólomba ezután szűrő szerszámot

körkeresztmetszetű alakmásba helyezik, amelyben, mint ez a 99. I. ábrán látható, keresztmetszetük négy pontjának érintkezéseketkövetkeztében középpontosan helyezkednek el. Az ilykép elhelyezkedett tárgyra a 99. II. ábrán *A*-val jelölt szűrőszerszámot működtetik, amelynek hatása következtében a kisajtolt anyag elsősorban az alakmás faláig hatol, ezután pedig másodlagos hatásként az alakmás és alakverő között levő rést is kitölti. Ha

mélyítenek, amelynek hatása következtében az edény fala mindaddig tágulni fog, míg annak a mintásfalú alakmás útját nem állja; amire ez az eset beáll, az edény az alakmás falához simul s ennek alakját veszi fel.

184. A *pneumatikus sajtót* szegecselésre használják. Lényege a 100. ábrán látott patkóalakú tartó, melynek egyik végén az Sz_2 formás üllő, a másikon pedig a H hengerben mozgó D dugattyúval kapcsolt Sz_1 formás akciós szerszám van, amely az A állványrész által egyenesben vezetett B rúdra van szerelve. Minthogy a B rúd mozgásiránya a D mozgásirányával 90° szöget zár be, a mozgást a C_2 kar közvetíti. A levegő nagyfokú sűrítése — amint azt a 38. pontban is említettük — nagy nehézséggel jár, a levegőt tehát a hengeres tartányban legfeljebb 5—8 at-ra sűrítjük. E csekély feszültség folytán a dugattyú aránylag nagyméretű. A 100. ábrán látható szerkezetenél a sűrített levegőt a T elosztó szerkezet az α térbe bocsátja, amire a dugattyú az Sz_1 szerszámot lefelé mozgatja; ezután a T dugattyú összeköti az α teret a β térrel s ekkor a nyomás kiegyenlítődik; tova haladtában pedig az α teret a külső levegővel s ekkor a dugattyú a β térben levő túlnyomás következtében visszahúzza az Sz_1 szerszámot.



100. ábra.
Szegecselő-gép.

γ) Hengerelés.

185. A hengerelés lényege a 87. pontban kifejtettek szerint az, hogy mindkét harapószerszám, t. i. az akciós és a reakciós, egyaránt forgó mozgást végez. A hengerelés szerszámai lehetnek forgási testek, vagy excentrikus alakúak.

A forgási test legegyszerűbb alakja az, amelynél a palástfelület hengeres. Az ilyen szerszámot *síma hengernek* nevezzük. (L. a 101. I. ábrát.) Lehet azonban a forgási test különböző sugarú hengeres és kúpos részekből összetéve, de akkor azt *alakos* vagy *profilos hengernek* nevezzük. (Lásd a 102. ábrát.)

A hengerelés műveletéhez épügy, mint a harapáshoz, legalább két hengerre van szükségünk. A két hengerből alkotott szerszámot *kéthengerű*

járatnak — duójáratnak — nevezzük. (L. a 101. I. ábrát.) Ha a test fokozatos alakítása céljából több hengerpárból álló csoportra van szükségünk, azokat összekapcsoljuk s a csoportot *hengersornak* nevezzük. (L. a 102. ábrát.)

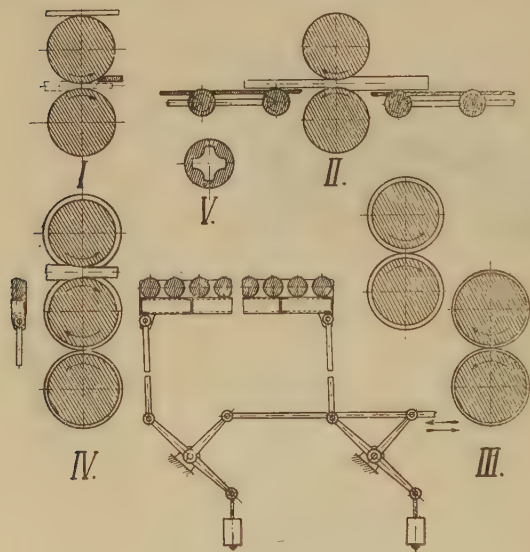
A hengerjárat forgásiránya vagy állandó, vagy váltakozó. Az állandó irányban forgó hengerjárat előnye, hogy azt nagy lendítőtömeggel láthatjuk el, melyben az üres járat ideje alatt a motor által termelt energia felhalmozódik, úgy hogy a munka időszakában szükséges energia egy részét a lendítőtömeg szolgáltatja, miért is mótora kisebb teljesítményű lehet; hátránya azonban, hogy az időnek csak mintegy felerészét hasznosítja, mert a tárgyat mindig egyazon oldalon kell a hengerek

közé bevezetni s átmenete után ismét a kiinduló oldalra visszavinni. A visszavitel gyorsítása céljából a tárgyat a felső hengerre helyezik, amint ezt a 101. I. ábra mutatja. A tárgyat tehát a henger átmérőjével egyenlő magasságra kell felemelni; ez a munka, ha a tárgy 30—50 kg-nál nem súlyosabb, fogók segítségével kézzel történhetik, súlyosabb tárgyak emelésére azonban emelő-szerkezetek szükségesek. (L. a 101. IV. ábrán levő szerkezetet.)

Nehéz tárgyak felemelése elkerülhető, ha a duójárat forgásirányát minden átmenet után megváltoztatjuk.

Az ilyen hengerjáratokat *reverzibilis* duójáratoknak szokás nevezni (l. a 101. II. ábrát). Ezeket lendítőtömegekkel nem szerelhetjük fel, mert a forgásirány megváltoztatásakor a szerkezetben felhalmozott mozgási energiát mindenkor meg kell semmisítenünk, azután pedig újból energiával ellátnunk. A reverzibilis hengerjáratok épen ezért nagy mechanikai munkapazarlással járnak; előnyük azonban, hogy az időt jobban hasznosítják s hogy a nehéz tárgyak irányváltoztatása görgős támasztókkal egyszerűen s gyorsan végezhető.

Az egyirányú duójáratnak azt a hátrányát, hogy az időnek csekély hányadát hasznosítja, még azáltal is kiküszöbölhetjük, hogy két duójáratot úgy helyezünk egymás mellé, hogy az egyiknek alsó hengere a másiknak felső hengerével kerüljön egy szintbe, amint azt a 101. III. vázlat is mutatja.

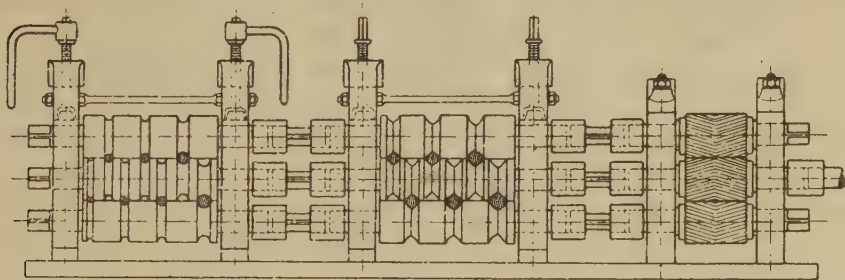


101. ábra.
Kéthengerű járatok elrendezése.

Ugyanezt a célt elérjük akkor is, ha három hengert egymás alatt helyezünk el, amint azt a 101. IV. ábrán látjuk. Ez utóbbi szerkezetet *triójáratnak* szokás nevezni.

Két hengerből álló szerszámmal a keresztmetszetben csak egyirányú méretcsökkenést okozhatunk. Ha a keresztmetszetben kétirányú méretcsökkenést kellene okoznunk, akkor a keresztmetszetre egyidejűleg két hengerpárt, tehát négy hengert működtetünk. Ezeket *négyhengerű járatoknak* szokás nevezni. (L. a 104. ábrát.)

Végre megemlítjük, hogy a hengerek tengelyei rendszerint párhuzamosak, de lehet azokat egymáshoz képest szög alatt is elhelyezni s ekkor azok nemcsak továbbítják, hanem forgatják is a tárgyat. (L. a 105. ábrát.) Az eddigiekben a henger mozgásirányait a tárggyal való érintkezés pontjaiban egyértelműeknek vettük, feltehető azonban, hogy e pontokban a hengerek mozgásirányai ellenkező értelműek. Ez utóbbi esetben a műveletet *mángorlásnak* nevezzük.



102. ábra.

Hengerjáratokból alkotott hengersor.

α_1) Kéthengerű hengerjáratok és hengersorok.

186. A vasiparban használt hengerek legkisebb átmérője $D = 250$ mm, leggyakoribb a 400—600 mm-es; különleges célokra azonban 800—1000 mm átmérőűeket is használnak. A hengerátmérő nagysága úgy választandó, hogy a hengerek a tárgyat maguk közé *behúzzák*. Ezt a feladatot a 103. I. ábrával megérzékített hengerek, amelyek egymástól δ_1 távolságban vannak, csak akkor teljesítik, ha az alsó hengerre támaszkodó T tárgy által kifejtett G erőnek n normális komponense által okozott nf surlódás nagyobb, vagy legalább egyenlő a tangenciális t komponenssel, vagyis ha $nf \geq t$. Ámde az ábra szerint $n = G \cos \varphi$ és $t = G \sin \varphi$. Ha ez értékeket a fenti egyenletbe helyettesítjük, eredményként kapjuk, hogy egyensúly esetén

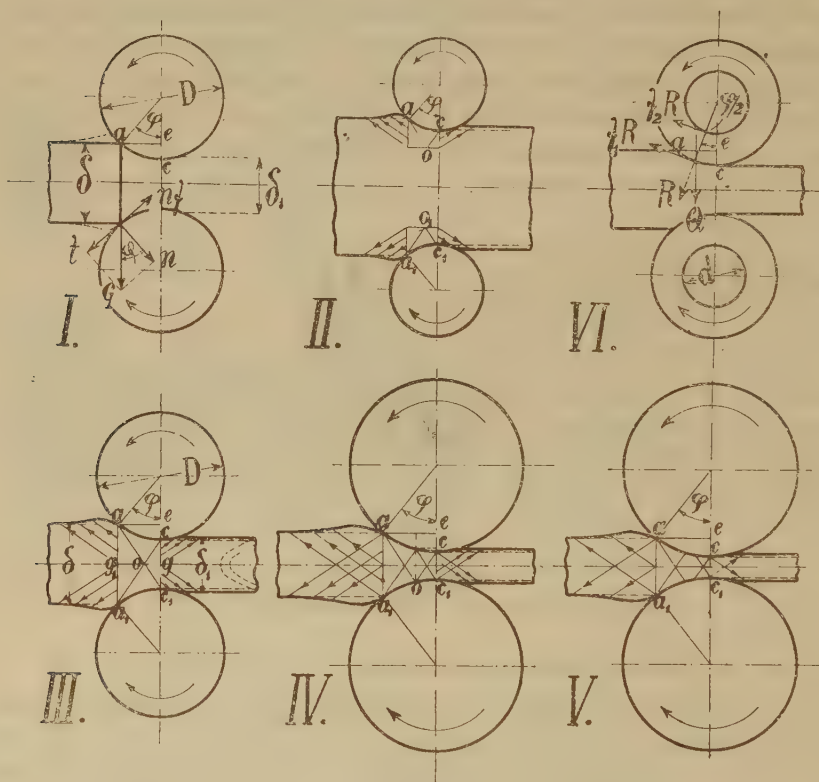
$$f = \operatorname{tg} \varphi, \quad (172.)$$

vagyis, hogy az érintés-ponthoz vont sugárnak a tengelyek összekötő vonalával képezett szöge (φ) legfeljebb a surlódás szögével, ψ -vel lehet egyenlő.

Kísérleti adatok alapján a surlódás szöge síma hengerek esetén: $\psi = 12^\circ$, ha azonban a henger palástját érdesítjük, vagy ha a tárgy és szerszám közé homokot hintünk, akkor e szög nagysága $\psi = 18^\circ$ -ra is emelkedhetik.

Ezeket tudva, a behúzás feltételét a henger és a tárgy méreteivel a 103. I. ábrán látható geometriai összefüggésből meghatározhatjuk. Az ábra szerint ugyanis az ec hosszúság a tárgy és a szerszám közös részlete, miért is ez így fejezhető ki:

$$ec = \frac{\delta}{2} - \frac{\delta_1}{2} = \frac{D}{2} - \frac{D}{2} \cos \varphi; \quad (173.)$$



103. ábra.

Hengerléskor, érvényesülő alakváltozások.

ebből a behúzást végző legkisebb henger átmérője és a tárgy megváltozott vastagsága között a keresett összefüggés a $\varphi = \psi$ esetén:

$$\frac{D}{\delta_1} = \frac{\delta - \delta_1}{\delta_1 (1 - \cos \psi)} = \frac{\frac{\delta}{\delta_1} - 1}{1 - \cos \psi}. \quad 173/a.$$

Amint a hengerek a tárgyat bármely okból maguk közé behúzták, akadálytalanul továbbíthatják is, mert ekkor a szerszám és a tárgy a 103. III. ábra szerint már nem egy élben, hanem az ac köríven érint-

kezik, ennél fogva az eredő nyomás már nem az a_1 ponton, hanem az $a_1 c_1$ ív felező pontján halad át, miért is a hengerek közé került tárgy már akkor is továbbíttatik, ha a $\varphi/2$ szög eléri a surlódás-szög értékét.

A hengerelés folyamatának feltétegyenlete tehát:

$$\frac{D}{\delta_1} = \frac{\frac{\delta}{\delta_1} - 1}{1 - \cos 2\psi}. \quad (173/b.)$$

187. A behúzás azonban a hengerlésnek csak szükséges, de nem elegendő feltétele. Hengerlésnél ugyanis a legtöbb esetben a tárgyat egész keresztmetszetében kell alakítanunk és az alakítást egyenletesen elosztott erővel kell elvégeznünk.

Minthogy hengerlésnél a központi szög (φ) mindig kisebb az anyag jellemző α szögénél, azért a henger épen úgy hat a tárgyra, mint a sík szerszám, amiből következik, hogy az alakváltozás csakis oly vastagságú rétegig hatolhat be, amily mélyre hatol a szerszám és a tárgy szélső érintőpontjaiból az erővel α szöget alkotó irányvonalak metszés-pontja. (L. a 103., II., III. ábrákat.)

A 103. II. ábra azt az esetet szemlélteti, amikor a henger átmérője a tárgy vastagságához képest kisméretű, ekkor ugyanis az aco rész o pontján át haladó reakció síkja csak a felülethez közel álló részt éri, ezért a deformálás is csak a felület mentén megy végbe; a külső erő tehát a legszélsőbb réteget mintegy lenyúzza.

Az alakítás az egész keresztmetszetre akkor terjed ki, ha az irányvonalak metszés-pontja a tárgy vastagsága feléig hatol, amint azt a 102. III. ábra mutatja, vagyis akkor, ha $cg = \frac{\delta_1}{2}$. Amint azonban a hengerátmérő

növekszik, vagy pedig a tárgy vastagsága csökken, akkor $cg > \frac{\delta_1}{2}$ lesz, sőt $cg > \delta_1$ is lehet. Ily viszonyok között a deformálás az egész keresztmetszetre egyenletesen terjed ugyan ki, az erő eloszlása azonban csak addig egyenletes, míg aoe háromszög o csúcs-pontja az alsó hengert nem éri (l. a 103. IV. ábrát), azaz míg $cg \leq \delta_1$; mihelyt $cg > \delta_1$, kötöttségek támadnak (l. a 103. V. ábrát), amelyek következtében az anyag ellenállása $q_{sz} \sqrt{z_h}$, ha t. i. a másik fősíkban nincs kötöttség, különben ez $q_{sz} \sqrt{z_h z_b}$ értékű.

A 103. III. és IV. ábrák alapján már most meghatározhatjuk a tárgy vastagsága és a henger átmérője közötti viszonyoknak ama határértékeit, amelyeken belül a deformálás az egész keresztmetszetre kiterjed és az erő eloszlása egyenletes. A 103. III. ábrából kitűnik, hogy az ae -vel jelölt hosszúság a henger méretével és a tárgy vastagságával fejezhető ki:

$$ae = \frac{D}{2} \sin \varphi = e c_1 \operatorname{ctg} \beta$$

vagy:
$$\frac{D}{2} \sin \varphi = \left(\frac{\delta}{2} + \frac{\delta_1}{2} \right) \operatorname{ctg} \beta, \quad (174.)$$

de mert e feltétel mellett egyidejűleg a 173. képlettel kifejezett geometriai összefüggés is fennáll, ezért $\varphi \propto \delta_1$ -nek függvénye, miért is a 174. képletbe $\sin \varphi$ -nek, a 173. képletből meghatározható értéke helyettesítendő.

A 173. képlet szerint ugyanis:

$$\cos \varphi = \frac{D - (\delta - \delta_1)}{D}$$

és így:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{D - (\delta - \delta_1)}{D} \right)^2} = \frac{1}{D} \sqrt{2D(\delta - \delta_1) - (\delta - \delta_1)^2} \quad (173/c.)$$

ennélfogva a 174. képlet így módosul:

$$\sqrt{2D(\delta - \delta_1) - (\delta - \delta_1)^2} = (\delta + \delta_1) \operatorname{ctg} \beta,$$

azaz:

$$2D(\delta - \delta_1) - (\delta - \delta_1)^2 = (\delta + \delta_1)^2 \operatorname{ctg}^2 \beta$$

és

$$2 \frac{D}{\delta_1} \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right) - \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right)^2 = \left(\frac{\delta}{\delta_1} + 1 \right)^2 \operatorname{ctg}^2 \beta.$$

Ebből az egyenletes deformáláshoz szükséges legkisebb átmérőnek a hengerköz méretéhez való viszonya:

$$\frac{D}{\delta_1} = \frac{\left(1 + \frac{\delta}{\delta_1} \right)^2 \operatorname{ctg}^2 \beta + \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right)^2}{2 \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right)} \quad (174/a.)$$

Az egyenletes erőelosztás határa esetén a 103. IV. szerint:

$$ae = \frac{D}{2} \sin \varphi = \left(\delta - \frac{\delta - \delta_1}{2} \right) \operatorname{ctg} \beta + \delta_1 \operatorname{ctg} \beta,$$

vagyis

$$\frac{D}{2} \sin \varphi = \frac{\delta + 3\delta_1}{2} \operatorname{ctg} \beta, \quad (175.)$$

de mert az előbb kifejtettek szerint $\varphi \propto \delta_1$ függő változó, a 175. képletbe $\sin \varphi$ -nek a 173/c. képlettel kifejezett értéke teendő. E helyettesítés alapján az egyenletes erőelosztással dolgozó legnagyobb átmérőnek a hengerköz méretéhez való viszonya:

$$\frac{D}{\delta_1} = \frac{\left(3 + \frac{\delta}{\delta_1} \right)^2 \operatorname{ctg}^2 \beta + \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right)^2}{2 \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right)} \quad (175/a.)$$

A most levezetett 173/a., 174/a. és 175/a. számú képletek által megadott viszonzszámokat áttekinthetőség kedvéért a XXIII. táblázatba foglaltuk.

XXIII. táblázat.

$\frac{\delta}{\delta_1}$ értékei		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	2
A behúzás feltételéből számított $\frac{D}{\delta_1}$ értékei, ha $\operatorname{ctg}^2 \beta = 0,77$ és	$\varphi = 18^\circ$	2	4,1	6,1	8,2	10,2	12,3	20,4
	$\varphi = 12^\circ$	4,6	9,2	13,7	18,3	22,9	27,5	45,8
$\frac{D}{\delta_1}$ -nek az egyenletes alakváltozás feltételéből számított legkisebb értékei		16,5	9,4	7,0	5,8	5,1	4,4	3,5
$\frac{D}{\delta_1}$ -nek az egyenletes erőelosztás feltételéből számított legnagyobb értékei		65	34	24	18,8	15,9	12,9	10,1

E táblázatból kitűnik, hogy *éridesített hengerekkel*, a $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,1 \sim 1,6$ határok között terjedő alakváltozást, egyenletesen elosztott erővel érhetünk el. Síma, azaz nem éridesített hengereket pedig akkor használhatunk, ha az alakváltozás $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,1 \sim 1,4$ között ingadozik. E táblázat segítségével az átmenetek számát is meghatározhatjuk. Ugyanis ha $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,2$ és $D = 9,2 \delta_1$, akkor a táblázat szerint ez a henger fokozatos közelítéssel addig használható, míg $\delta_x = \frac{1}{34} D$ -vé válik, de mert $D = 9,2 \delta_1$, így $\delta_x = \frac{9,2}{34} \delta_1 = 0,271 \delta_1$. Ha minden átmenet alkalmával $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,2$ -nek vétet-nék, akkor a teljes megnyúlások így volnának kifejezhetők:

$$\frac{\delta}{\delta_1} = 1,2, \frac{\delta}{\delta_2} = 1,2^2, \frac{\delta}{\delta_3} = 1,2^3, \text{ tehát } \frac{\delta}{\delta_x} = 1,2^x$$

$$\text{s így } \frac{\delta_1}{\delta_x} = 1,2^{(x-1)} = \frac{34}{9,2} = 3,70,$$

$$\text{ebből } x = \frac{\log 3,70}{\log 1,2} + 1 = \frac{0,56}{0,08} + 1,$$

$$\text{vagyis } x = 7,1 + 1 = 8,1,$$

tehát összesen nyolcszor lehet a tárgyat a fokozatosan közelített hengerek között alakítani.

A hengerek hosszúsága síma hengerek esetén — mert a terhelés ekkor egyenletes —: $H = (3 \sim 4) D$, alakos hengereknél azonban — mert ilyenkor a terhelés koncentrált — a hosszúság: $H = (2 \sim 2,5) D$.

A csapok átmérőjét, hogy a lökéseknek jól ellenállhassanak, félakkorára vesszük, mint a hengerátmérőt: $d = 0,5 D$; a csap hosszát pedig egyenlőnek annak átmérőjével: $h = d$. Ámde a csapokat, mert a henge-

reket egyrészt a hajtóművel, másrészt a szomszédos hengerjáratokkal kell összekapcsolnunk, toldatokkal látjuk el s ezekre ékvezetékes hüvelyt húzunk. E toldatok keresztmetszete keresztalakú, amint azt a 101. V. és a 102. ábra mutatja.

Megemlíjtük még, hogy az alsó hengert mindig valamivel nagyobbra készítjük. Ezzel a tárgy, amint a hengerből kijő, a felső henger felé hajlik, de hogy erre reá ne fekhessék, kaparóélel távolítjuk el róla (lásd a 101. I. ábrát). A hengerelt tárgy az alsó henger gyorsabb járása dacára még sem görbe, mert a tárgynak hengerek alól kiszabadult része súlyánál fogva kissé lefelé hajlik s ezzel a tárgy kiegyenesedik.

188. Az előbbieken már megemlítettük, hogy a kéthengerű járat síma és alakos lehet, de mert ezek a tárgyat különböző módon munkálják meg, ezért hatásukat a következőkben elkülönítve fogjuk ismertetni.

Síma hengerek esetén, a 103. III. ábrával megadott fősíkban, az alakváltozás jelenségei a következők: Rugalmas alakváltozáskor a tárgy sebessége a szerszám kerületi sebességével megegyező, maradó alakváltozás esetén azonban a hengerek harapó hatása következtében a 103. III. ábra jelzése szerint az $acgg_1$ és az $a_1c_1gg_1$ részekből az anyag a szabad oldalak felé mozdul el. Ez elmozdulások irányvonalai a hengerek behatása alól kiszabadult részben egyértelműek a tárgy haladásával, a henger előtt levő részben azonban ellenkező értelműek, ezért a hengerek alól kiszabadult rész nagyobb sebességgel halad a henger kerületi sebességénél, a henger előtti rész pedig ennél kisebbel. Ebből azonban az következik, hogy az ac érintkező felületnek olyan pontja is van, amelynek sebessége a henger kerületi sebességével teljesen egyező. Az e pontnak megfelelő keresztmetszetet *középkéskeresztmetszetnek* (Δ_k), sebességét pedig *középsébségnek* (v_k) fogjuk nevezni. Minthogy az időegységben deformált anyag köbtartalma minden keresztmetszetben ugyanaz, vagyis mert: $\Delta v = \Delta_2 v_k - \Delta_1 v_1$, következik, hogy a henger előtt levő

$$\left. \begin{aligned} \text{résznek sebessége: } v &= \frac{\Delta_2}{\Delta} v_k; \\ \text{a hengerből kifutó részé pedig: } v_1 &= \frac{\Delta_2}{\Delta_1} v_k. \end{aligned} \right\} \quad (176.)$$

A hengerlésnél mutatkozó sebességváltozások tanu'mányozása céljából régebben úgy jártak el, hogy a hengerelendő tárgyat vastagsága irányában furatokkal látták el, azokat a hengerlés előtt lágyabb anyaggal kitöltötték, hengerlés után pedig e furatok alakját vizsgálták meg. Kitűnt, hogy abban az esetben, ha a szerszám és tárgy közötti viszony a 103. III. ábrának felelt meg, a furatok anyaga < alakot nyert, jeléül annak, hogy a szélső szálak sebessége nagyobb volt a középső részénél. Ha azonban a viszonyok a 103. V. ábrának feleltek meg, a furatok nem görbültek el, ami annak a jele, hogy az elmozdulások az egész keresztmetszetben egyformák voltak.

Az eddigiekben az alakváltozásokat a hengerek keresztmetszetének síkjában vettük figyelembe, térjünk most át a hengerek hosszanti metszetének síkjában végbemenőkre. Ha a tárgy szélessége és vastagsága között az összefüggés: $b \operatorname{tg} \beta < \delta < 2,5 b \operatorname{tg} \beta$, akkor az alakváltozás épen olyan, mint a rendes nyomásnál, miért is a méretváltozást a köbtartalom állandóságából számíthatjuk ki, vagyis:

$$b \delta h = b_1 \delta_1 h_1, \text{ ebből: } \frac{\delta}{\delta_1} = \frac{b_1}{b} \cdot \frac{h_1}{h},$$

$$\text{ámde } \frac{b_1}{b} = \frac{h_1}{h}, \text{ ezért } \frac{b_1}{b} = \sqrt{\frac{\delta}{\delta_1}}. \quad (177.)$$

Ha azonban a tárgy vékony, azaz: $\delta < 0,5 b \operatorname{tg} \beta$, akkor a kötöttség nemcsak a feszültséget növeli, hanem a surlódást is, miért is a szélesség-irányú méretnövelésnek csökkennie kell. A korompai acélgyár henger-művében végzett kísérletekből kitűnt, hogy a vékony tárgyak szélesbédése a *hőfoktól teljesen független*, a kötöttséggel pedig a következő összefüggésben áll:

$$\frac{b_1}{b} = \left(1 + \frac{\sqrt{\frac{\delta}{\delta_1}} - 1}{z_b^3} \right), \quad (177/a.)$$

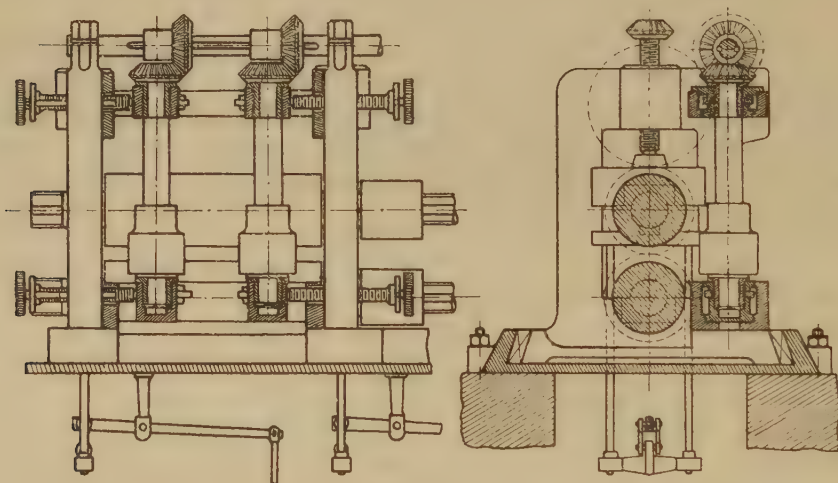
ahol
$$z_b = \sqrt{\frac{(n+1)(2n_b+1)}{6n_b}} \quad \text{és} \quad n_b = \frac{b}{2\delta \operatorname{ctg} \beta}.$$

189. Síma hengerek között a tárgy oldallapjai époly egyenlőtlenül duzzadnak, mint a rendes nyomásnál. Ámde az anyag egyenlőtlen eloszlása gátlást ébreszt, amely, ha a kohézió értékét eléri, a tárgyat berepeszti. Minthogy a szélek berepedése vastag lemezek esetén nagy károkat okoz, azért ezek széleit oly módon egyengetjük, hogy a vízszintes tengelyű hengerek elé függőleges tengelyű hengerpárt teszünk, amint azt a 104. ábra mutatja. Az ilyen hengerjáratot egytetemesnek, *univerzálisnak* nevezzük, mert mindenféle négyszögkeresztmetszetű darabok szabályos hengerlésére használható. Az univerzális járatok vagy egy irányban, vagy váltakozó irányban foroghatnak, az egy irányban forgók lehetnek duó- vagy trió-járatúak. Az univerzális járat függélyes tengelyű hengereit nem szabad közelebb állítani annál a méretnél, amelyet az adott viszonyok között a 177/a. képlet a b szélességre megád. Különben gyűrődések keletkeznek, amelyek a lemez használhatóságát károsan befolyásolják.

190. Csekélyebb szélességű négyszögkeresztmetszetű tárgyak (lapos vasak, hevederek) szabályos hengerlésére a 105. I. ábrán látható *nyújtó-üregeket* használjuk. Az ilyen üreget az jellemzi, hogy a tárgy oldallapjai-

nak határolása céljából az alsó henger gyűrűs todatokkal van ellátva, amelyek a tárgy oldallapjain túl a felső hengerbe mélyednek. Ez elrendezéssel az üreg teljesen zárttá válik, ami azért szükséges, hogy a hengerek érintkező vonala mentén a hengerlendő tárgy anyaga be ne hatoljon, mert különben él képződik, ami a tárgyat elcsúfítja.

Mint hogy a négyszög keresztmetszetű tárgyak egyszeri átmenetkor csak mérsékelten alakíthatók, egy-egy hengerjáraton több nyújtó üreget helyezünk el (L. a 105. I. ábrát). Ez üregek szerkesztése a következőkép végzendő: Legyen az alakítandó tárgy kezdeti keresztmetszete a 105. II. ábra szerint ac eg, vastagsága: δ . Ha ez utóbbit oly δ_1 -re akarjuk módosítani, amely $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,3$



104. ábra.
Univerzális lemezhenget.

viszonynak felel meg, akkor az új üreg b_1 mérete a 176. a. képlet szerint:

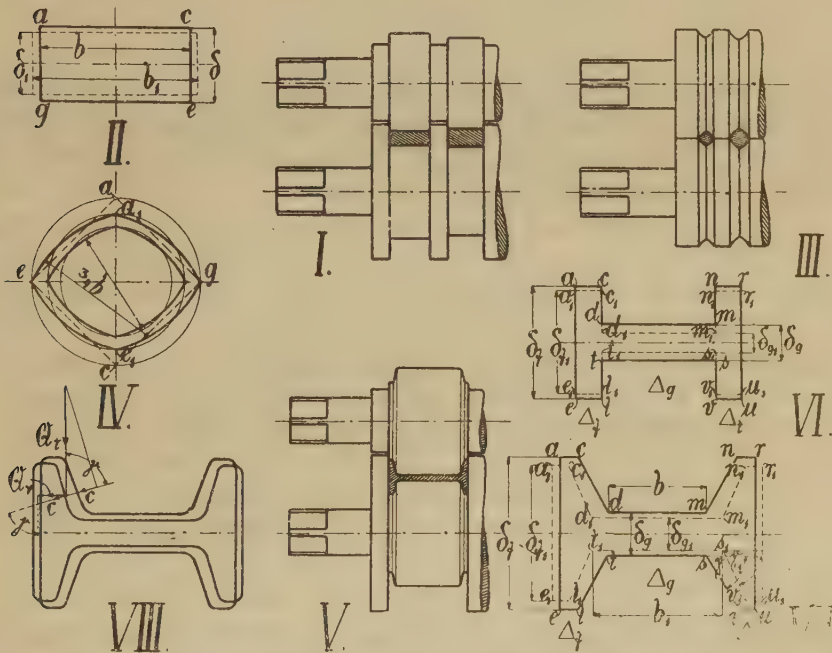
$b_1 = b \left(1 + \frac{\sqrt{\frac{\delta}{\delta_1}} - 1}{z_b^3} \right)$ volna; a gyakorlatban azonban, hogy a tárgy a hengerüregt jól kitöltse, az üreget kisebbre veszik, vagyis:

$$b_1 = b \left(1 + (0,33 \sim 0,66) \frac{\sqrt{\frac{\delta}{\delta_1}} - 1}{z_b^3} \right) \quad (177b.)$$

191. Salakot tartalmazó hegesztett vasat úgy kell hengerelni, hogy a salak kisajtolassék. E célból a keresztmetszetet kétirányú nyomásnak vetjük alá. Ezt a feladatot a 105. III. ábrán látható tömörítő járattal oldjuk meg, amelyet a következő módon szerkesztünk meg: Az alakítandó négyzetkeresztmetszetű tárgyat élére állítjuk és ac átlóját vastagságnak,

δ -nak vesszük, miért is másik átlója a keresztmetszet szélessége, vagyis $eg=b$ (lásd a 105. IV. ábrát). Minthogy $\frac{\delta}{\delta_1}$ viszony adva van, kiszámítható $\delta_1=a_1 c_1$ értéke s ezzel az új üreg csúcspontjait, t. i. az a_1 és c_1 pontokat megjelölhetjük. S mert tömörítő üregben a tárgy legnagyobb szélessége változatlan, azaz, mert $b_1=b=eg$, ezért az új üreg további csúcspontjait az e és a g pontok alkotják. Az ilykép meghatározott csúcspontokat most már oly körívvel kötjük össze, amelyek sugara $\frac{3}{4}b$.

A tömörítő járat minden üregén a tárgy kétszer bocsátandó át,



105. ábra.

Az üregek szerkesztésének módja.

a második átbocsátáskor azonban 90° -kal elfordítandó, minek folytán a tárgy keresztmetszete ismét négyzetalakúvá válik.

192. Sínek, tartók, szögvasak s egyéb alakos rudak a 105. V. ábrán látható alakos üregű hengereken készülnek. E hengerek jellemzője, hogy az anyagot ferde lapok segítségével a nagy mértékben deformált helyről a kisebb mértékben deformált helyekre tolják el. Az ilyen ferde eltoló- — *elterelő*- — lapok nélkül az alakos tárgy egyes részei különböző hosszúságra nyujtanának ki. A 105. VI. ábrán látható keresztmetszettel bíró tárgy $dmst=\Delta_g$ gerincének hosszúsága például nagyobb volna az $acle=\Delta_f$ fej és az $nruv=\Delta_t$ talp hosszúságánál, még pedig a részek keresztmetszetének csökkenése arányában. A köbtartalom állandóságából,

vagyis $\Delta_g H_g = \Delta_{g1} H_{g1}$ és $\Delta_t H_t = \Delta_{t1} H_{t1}$ összefüggéséből következik, hogy

$$H_{g1} = H_g \frac{\Delta_g}{\Delta_{g1}} \text{ és } H_{t1} = H_t \frac{\Delta_t}{\Delta_{t1}}.$$

Ha e részek kezdeti hosszúsága egyenlő volt, azaz ha $H_g = H_t$ és ha a keresztmetszetek szélesedésétől egyelőre eltekintünk, akkor: $\frac{\Delta_g}{\Delta_{g1}} = \frac{\delta_g}{\delta_{g1}}$ és $\frac{\Delta_t}{\Delta_{t1}} = \frac{\delta_t}{\delta_{t1}}$, ámde az ábra szerint $\frac{\delta_g}{\delta_{g1}} = 1,6 \frac{\delta_t}{\delta_{t1}}$, így hosszúságuk viszonya a fenti egyenletek szerint:

$$\frac{H_{g1}}{H_{t1}} = 1,6,$$

vagyis a hengerelt tárgy harmadrészének se talpa, se feje nem volna, miért is a hengerelt tárgy tartónak nem volna használható. Ha azonban a középső részből az anyag fölös mennyiségét a szélső részekbe tereljük, a test minden része egyforma hosszúságú lesz.

Az anyag terelését a 82. pont 64. képlete szerint a szerszám lapja akkor végzi, ha az a nyomóerő irányával oly γ szöget alkot, amelynek értéke $\gamma = \beta \sim 90^\circ$ között ingadozik. A terelőlapokat tehát az első üregnél úgy helyezzük el, hogy ez a függélyes iránnyal a β szöget alkossa, a többinél pedig úgy, hogy a γ szög fokozatosan $2 \sim 3$ fokkal nagyobb legyen. Arra is figyelünk, hogy az utolsó üregben a hajlásszög és a surlódásszög összege kisebb legyen a derékszögnél, vagyis, hogy $\gamma \leq 90^\circ - 12^\circ$ legyen.

Ezt a szabályt szem előtt tartva, az egymást követő üregek a következő módon szerkeszthetők meg: Elsősorban felvesszük a középső (Δ_g) részben létesítendő $\left(\frac{\delta_g}{\delta_{g1}}\right)$ vastagságcsökkenést és ebből kiszámítjuk a megváltozott (δ_{g1}) vastagságot, ezt a régi üreg alakját mutató ábrába berajzoljuk és ennek végpontjain át meghúzzuk az új üreg középső részének vízszintes határvonalait. Ezután a 177/a. képlet segítségével meghatározzuk a középső rész megváltozott b_1 szélességét és ennek végpontjait is megjelöljük az ábrán. Ez eljárással az új üreg d_1, m_1, s_1, t_1 sarokpontjait kaptuk meg. E sarokpontokból meghúzzuk a már előbb megállapított γ_1 szög alatt hajló terelőlapokat. Ezután felvesszük a Δ_t s Δ_f keresztmetszetekkel bíró részek vastagságcsökkenését, azaz a $\frac{\delta_t}{\delta_{t1}}$ és $\frac{\delta_f}{\delta_{f1}}$ értékeket, ezek segítségével kiszámítjuk a δ_{t1} s δ_{f1} számértékeit és ezeket is megjelöljük az ábrán, végpontjaikon át pedig meghúzzuk az üreg vízszintes határvonalait. E vízszintes vonalaknak a terelőlapokkal való metszéspontjai alkotják az új üreg további sarokpontjait (lásd az ábra c_1, l_1, n_1, v_1 pontjait). Végre meg kell határoznunk az új üreg oldallapjainak helyzetét is. Ezt a hosszúságok egyenlőségének követelménye alapján állapítjuk

meg, amely így fejezhető ki: $H_{g1} = H_{t1} = H_{f1}$. Ebből és a köbtartalom állandóságából következik, hogy:

$$\frac{\Delta_g}{\Delta_{g1}} = \frac{\Delta_t}{\Delta_{t1}} = \frac{\Delta_f}{\Delta_{f1}}, \quad (178.)$$

az üregek határvonalai tehát olyképp helyezendők el, hogy

$$\Delta_{t1} = \Delta_t \frac{\Delta_g}{\Delta_{g1}} \text{ és } \Delta_{f1} = \Delta_f \frac{\Delta_g}{\Delta_{g1}} \quad (178/a.)$$

legyen. Feladatunkat interpolációval oldjuk meg, azaz meghúzzuk a valószínű határvonalakat s azután planimétrálással állapítjuk meg e keresztmetszetek viszonyát; ha az a fenti követelménynek nem tesz eleget, a határvonalakat, vagyis az $a_1 e_1$ vonal fekvését mindaddig változtatjuk, míg a keresztmetszetek kívánt viszonyát elérjük. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a 178/a. képlettel kifejezett egyenlőségnek nem kell okvetlenül teljesen eleget tennünk, mert az anyag kohéziója a keresztmetszetek 1—2% különbség által okozott feszültségét legyőzni

képes. E különbség, helyesebben mondva, a $\frac{\Delta_g}{\Delta_{g1}} : \frac{\Delta_t}{\Delta_{t1}}$ viszony értéke alacsonyabb hőfokon nagyobb lehet, mert ekkor az anyag kohéziója is nagyobb. Két százaléknál nagyobb különbség a keresztmetszetek között azonban ne legyen, mert ekkor az anyag képlékenysége következtében a d_1, m_1, s_1, t_1 pontok által megjelölt helyeken kontrahál és ha a kontraháció folytán a behorpadás már nagy egyenlőtlenséget okoz, a kontrahált részekben a tárgy be is reped.

Végül megemlítjük még, hogy a repedés veszélyének csökkentése céljából az üregek sarkait le kell tompítanunk.

193. Az üregek szerkesztésekor arra is kell figyelniük, hogy az alakításhoz szükséges munka lehetőleg állandó és akkora értékű legyen, hogy azt a motor a legkedvezőbb hasznosítás-fokkal végezhesse. Hengerléskor a motor legyőzi a tárgy alakításához szükséges $\mathfrak{M}_B$ belső munkát, a henger és a tárgy közötti $\mathfrak{M}_H$ surlódást, a csapnak $\mathfrak{M}_{cs}$ surlódását és a hengersor üres járásához szükséges $\mathfrak{M}_{ii}$ munkát, miért is a külső $\mathfrak{M}_k$ munka így fejezhető ki:

$$\mathfrak{M}_k = \mathfrak{M}_B + \mathfrak{M}_H + \mathfrak{M}_{cs} + \mathfrak{M}_{ii}, \quad (179.)$$

vagy lóerőegységekben kifejezve:

$$N_k = N_B + N_H + N_{cs} + N_{ii}. \quad (179/a.)$$

Az üres járat munkája kísérleti úton határozandó meg. Tájékoztatásul közöljük, hogy kisméretű hengereknél $N_{ii} = 36 \sim 100$, nagyméretűeknél pedig $N_{ii} = 150 \sim 400$ szokott lenni. Minthogy az üres járatot az üreg alakja nem befolyásolja, azért az üregek szerkesztésénél csak

$$N_k - N_{ii} = N_B + N_H + N_{cs} \quad (179/b.)$$

értékek veendőek figyelembe.

A tárgy alakításához szükséges belső munka nagysága a 163/b. képlet szerint

$$\mathfrak{M}_B = K \cdot q_{sz} \ln \frac{\delta}{\delta_1} = K \cdot q_{sz} \sqrt{z_b \cdot z_h} \ln \frac{\delta}{\delta_1}.$$

Ez a képlet az egész tárgy alakításának munkáját adja, de mert a 179/b. képlet lóerőkben fejezi ki a teljesítményt, ezért a *másodpercenkénti munka* fejezendő ki, vagyis K helyébe a másodpercenként deformált anyag köbtartalma teendő, s mert

$$K_{pro\ sec} = \Delta v = \Delta_k v_k = \Delta_1 v_1,$$

azért

$$N_B = \frac{\mathfrak{M}_B, pro\ sec}{75} = \frac{\Delta_k v_k}{75} q_{sz} \sqrt{z_b \cdot z_h} \ln \frac{\delta}{\delta_1}; \quad (180.)$$

e képletben

$$z_b = \sqrt{\frac{(n_s + 1)(2n_b + 1)}{6n_b}} \quad \text{és} \quad n_b = \frac{b}{2\delta \cdot ctg\beta},$$

$$z_h = \sqrt{\frac{(n_h + 1)(2n_h + 1)}{6n_h}} \quad \text{és} \quad n_h = \frac{\frac{D}{2} \sin\varphi}{(\delta + \delta_1) ctg\beta}.$$

Ha pedig kötöttségek nem volnának és a tárgy szélessége sem változnék, akkor

$$N_B = \frac{\Delta_k v_k}{75} q_{sz} \ln \frac{\delta}{\delta_1} = \frac{\Delta_k v_k}{75} q_{sz} 2 \frac{(\delta - \delta_1) b}{(\delta + \delta_1) b} = \frac{v_k}{75} (\Delta - \Delta_1) q_{sz}. \quad (180/a.)$$

E képlet*) szerint a belső munka a keresztmetszet kisebbedésétől, a henger sebességétől és az anyag fajlagos ellenállásától függ.

Hogy a surlódások legyőzésére szükséges munkát kiszámíthassuk, a 103. VI. ábrán R -rel jelölt hengernyomás nagyságát kell ismernünk. Minthogy hengerlésnél a központi szög lényegesen kisebb az anyag jellemző α szögénél, ezért a deformálás csak a hengerlés irányára normá-

*) Teljesen azonos eredményre jutott 1911-ben HERRMANN MIKSA tanár a hengerlés elméletéről írt „Walzarbeit und Walzdruck” című tanulmányában, amelyet a Stahl und Eisen című szaklap 31. évf. 42. számában tett közzé. HERRMANN tanár ugyanis a Stahl und Eisen 1910. évi okt. 19-én megjelent PUPPE-féle kísérleti eredményeket tanulmányozva belátta, hogy a hengerelés munkaszükséglete csakis az elméleti mech. technologia alapelvei alapján számítható ki, s mert ő több éven át az elméleti mech. technologia első úttörőjének, FR. KICK bécsi műegyetemi tanárnak asszisztense volt, mestere szellemében járt el, midőn az izzó vasat képlékenynek, azaz nyomás elleni ellenállását (k) egy adott hőfokon állandónak vette és amidőn a hengerlés ellenállását nem k -val, hanem $2k$ -val tette egyenlővé. Minthogy $2k = q_{sz} = q(1 + tg^2\beta)$, ebből következik, hogy HERRMANN tanár számításainak egyszerűsítésére β -t 45° -nak vette. Ez alapon kapta azt az eredményt, hogy $\mathfrak{M}_B = \Delta \cdot v \cdot 2k \cdot \ln \frac{\delta}{\delta_1}$.

lisan álló erők hatása következtében megyen végbe. Az ehhez szükséges nyomóerő:

$$Q = a e \cdot b_k \cdot q_{sz} = \frac{D}{2} \sin \varphi \cdot b_k \cdot q_{sz}, \quad (181.)$$

s ha $\sin \varphi$ értékét $\cos \varphi$ -vel s ez utóbbit a 173. képlet segítségével s a tárgy és a henger méreteivel fejezzük ki, vagyis ha figyelembe vesszük, hogy

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\delta - \delta_1}{D}\right)^2} = \frac{\delta - \delta_1}{D} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1},$$

amit ily alakban is írhatunk:

$$\sin \varphi = \frac{\delta - \delta_1}{\delta + \delta_1} \cdot \frac{\delta + \delta_1}{D} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} = \frac{1}{2} \ln \frac{\delta}{\delta_1} \cdot \frac{2\delta_k}{D} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} = \ln \frac{\delta}{\delta_1} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1},$$

akkor a 176. képlet alapján a Q értéke a következő lesz:

$$Q = \delta_k b_k \frac{q_{sz}}{2} \ln \frac{\delta}{\delta_1} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} \quad (181/a.)$$

és mert a 103. VI. ábra szerint

$$R = Q \cos \frac{\varphi}{2},$$

azért

$$R = \delta_k b_k \frac{q_{sz}}{2} \ln \frac{\delta}{\delta_1} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} \cdot \cos \frac{\varphi}{2}.$$

Ámde $\frac{\varphi}{2}$ mindig kisebb 6° -nál, tehát $\cos \frac{\varphi}{2} > 0,9945$, ezért egynek vehető, miért is számításainkban feltesszük, hogy:

$$R = Q = \Delta_k \cdot \frac{q_{sz}}{2} \ln \frac{\delta}{\delta_1} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1}. \quad (181/b.)$$

Abban az egyszerű esetben, ha a tárgy szélessége közel állandó marad, a $\ln \frac{\delta}{\delta_1}$ sorbafejtésével a keresztmetszet viszonyát is behozhatjuk. Minthogy

$$\ln \frac{\delta}{\delta_1} = 2 \frac{\delta - \delta_1}{\delta + \delta_1} = \frac{\delta b - \delta_1 b}{\frac{\delta b + \delta_1 b}{2}} = \frac{\Delta - \Delta_1}{\Delta_k},$$

azért

$$Q = \frac{q_{sz}}{2} (\Delta - \Delta_1) \sqrt{\frac{2 \frac{D}{\delta_1}}{\frac{\delta}{\delta_1} - 1}}. \quad (181/c.)$$

Ha a csapra gyakorolt nyomást kísérletileg meghatározzuk, amint azt PUPPE *) tette, a 181/c. képlettel meghatározhatjuk a q_{sz} értéket.

*) L. a Stahl u. Eisen 1909. évfolyamát.

Az R eredő segítségével surlódásokat határozhatjuk meg. Az R sugár-irányú eredő ugyanis az a és az a_1 ívhez tartozó felületeken a szerszám és a tárgy között surlódást okoz ugyan, amely a tárgyat behúzza; ez azonban káros surlódási munkát csak akkor végez, ha a tárgy és szerszám között sebesség-különbség van. Az előző 192. pontban kifejtettük, hogy az a pontnál lévő anyag lassabban halad a szerszámnál, az tehát tényleg káros surlódást okoz; ámde a c -nél lévő anyag gyorsabban halad, ennél fogva ez a henger mozgását elősegíti, vagyis ellenkező értelmű az előbbinél s ezért a szerszám és tárgy közötti káros surlódás értékét: $N_H = 0$ -nak fogjuk venni.

Ha a surlódás tényezőjét f_2 -vel, a surlódó erőt Rf_2 -vel, másodpercenkénti útját, vagyis a csap kerületi sebességét pedig v_{cs} -vel jelöljük, akkor a csapok surlódása mindkét hengerre vonatkozólag így fejezhető ki:

$$N_{cs} = \frac{2R}{75} \cdot f_2 \cdot v_{cs} \quad (182.)$$

E képletünk alakja, ha R -nek a $181/b$. képlettel és v_{cs} -nek a henger kerületi sebességével kifejezett $v_{cs} = v_k \frac{d}{D}$ értékét (l. a 103. VI. ábrát), helyettesítjük, így módosul:

$$N_{cs} = \frac{\Delta_k v_k}{75} \cdot q_{sz} \cdot \ln \frac{\delta}{\delta_1} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} \cdot \frac{d}{D} \cdot f_2. \quad (182/a.)$$

A 180. és 182/a. képletet a 179/b. képletbe helyettesítve és föltéve, hogy kötöttség nincs, a következő képletet kapjuk:

$$N_k - N_{ii} = N_B + N_{cs} = \frac{\Delta_k \cdot v_k}{75} q_{sz} \cdot \ln \frac{\delta}{\delta_1} \left[1 + f_2 \frac{d}{D} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} \right]; \quad (179/c.)$$

kötöttség esetén pedig:

$$N_k - N_{ii} = \frac{1}{75} \Delta_k v_k \cdot q_{sz} \sqrt{z_b \cdot z_h} \cdot \ln \frac{\delta}{\delta_1} \left[1 + f_2 \frac{d}{D} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} \right]. \quad (179/d.)$$

Minthogy képletünkben a zárójel előtt lévő rész a belső munka értékét jelzi, ennél fogva a zárójelben lévő rész a hasznosítás fokának reciprok értékét adja, azaz:

$$\frac{1}{\eta} = 1 + f_2 \frac{d}{D} \sqrt{\frac{2D}{\delta - \delta_1} - 1} = 1 + f_2 \frac{d}{D} \sqrt{\frac{2}{\frac{\delta}{\delta_1} - 1} - 1}. \quad (183.)$$

Az e képletben előforduló surlódási tényező értéke a kenés módjától és a csapok és csapcsészék símaságától függ. Határértékei: $f_2 = 0,04 \sim 0,1$, középértéke tehát: 0,07. A surlódás tényezőjének számértékét ismerve, a 183. képlettel kiszámíthatjuk a hasznosítás fokát, föltéve, hogy a vastagság válto-

zását és a $\frac{D}{\delta_1}$ viszonyt ismerjük. Abban az esetben, ha $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,2$ és ha az alakítást egyenletesen elosztott erővel végezzük, tehát ha a XXIII. táblázat szerint $\frac{D}{\delta_1} = 9,2 \sim 34$, úgy $\frac{1}{\eta} = 1,33 \sim 1,64$ határok között ingadozik, tehát $\eta = 0,75 \sim 0,61$. Ha pedig $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,4$ és $\frac{D}{\delta_1} = 18,3 \sim 18,8$ akkor $\frac{1}{\eta} = 1,33$, tehát $\eta = 0,75$. A következőkben $\frac{1}{\eta}$ középértékét: $\frac{1}{\eta} = 1,50$ fogjuk számításba venni.

Ez alapon a 179/d. képletet így is írhatjuk:

$$N_k - N_{ii} = \frac{1,5}{75} \Delta_k \cdot v_k \cdot q_{sz} \sqrt{z_b \cdot z_h} \ln \frac{\delta}{\delta_1} = 0,02 \Delta_k v_k q_{sz} \sqrt{z_b z_h} \ln \frac{\delta}{\delta_1} \quad (179/e).$$

A gyakorlatban azonban a hengerek munkaszükségletét a keresztmetszetek csökkenéséből számítjuk ki, ezért indokolt, hogy a 179/d. képletünket úgy alakítsuk át, amint azt a 180/a. képlettel tettük. Ezt az átalakítást azonban csak adott esetre alkalmazva végezhetjük el, miért is a munka képletét a csúcsíves, a nyújtóüreges és a profilos hengerekre külön kell kifejeznünk.

Csúcsíves vagyis tömörítő járatokkal való hengerléskor a tárgy szélessége állandó és mert az alakítást egyenletesen elosztott erővel végezzük, a munkaszükséglet képlete így írható:

$$N_k - N_{ii} = 0,02 v_k (\Delta - \Delta_1) q_{sz}. \quad (179/f).$$

Minthogy $v_k (\Delta - \Delta_1)$ szorzat a fajsúllyal ($\rho = 0,0077 \text{ kg/cm}^3$) való szorzása esetén a kiszorított anyag súlyát jelenti, így a 179/f képlet segítségével az 1 kg. súlyú anyag kiszorításához szükséges munkát is kifejezhetjük. Ez ugyanis:

$$E = \frac{N_k - N_{ii}}{v_k (\Delta - \Delta_1) \rho} = \frac{0,02}{\rho} q_{sz} = 2,6 q_{sz}. \quad (184).$$

Az 1 kg. kiszorított anyagra szükséges hengerlési munkát, amelyet fajlagos munkaszükségletnek nevezünk, COTEL *) a PUPPE-féle kísérleti adatokból számította ki, még pedig ugyanazon hőfokra, de különböző üregekre vonatkozólag s azt találta, hogy ez adat egyazon anyagra, üregekre és hőfokra vonatkozólag állandó. Majdnem ugyanezt az utat követte E. KÖTTGEN, **) ő ugyanis a munkát a kiszorított anyag férőjére (kőb-tartalmára) vonatkoztatta.

Alkalmazzuk már most a csúcsíves járatokra nyert képleteket adott esetre: Tegyük fel, hogy $v_k = 2 \text{ m/sec}$, $\Delta - \Delta_1 = 2000 \text{ mm}^2$, $\rho = 0,0077 \text{ kg/cm}^3$

*) L. COTEL: Zur Bestimmung der Walzarbeit, Stahl u. Eisen 1918. évf. 16. sz.

**) L. E. KÖTTGEN: Elektrische Antriebe von Walzwerken, Stahl u. Eisen XXIV. évf.

és hogy az anyag szilárdsági adatai hideg állapotban: $\sigma = 50 \text{ kg/mm}^2$, $p_e = 60 \text{ kg/mm}^2$, akkor 1200°C -on $q_{sz} = 3.60 \cdot 0,031 = 5,6 \text{ kg/mm}^2$, 900° -on pedig $q_{sz} = 3.60 \cdot 0,075 = 13,5 \text{ kg/mm}^2$; miért is $N_k - N_{ii} = 448 \sim 1080$ és $E = 14,6 \sim 35,1$.

Síma vagyis nyújtó üregek esetén a szélesség változó, ezért a $\ln$ sorbafejtésekor az eredeti s a megváltozott szélesség is bekerül a képletbe, t. i.

$$\ln \frac{\delta}{\delta_1} = 2 \frac{\delta - \delta_1}{\delta + \delta_1} = \frac{\delta - \delta_1}{\delta_k} \cdot \frac{(b + b_1) 0,5}{b_k} = \frac{(\delta b - \delta_1 b_1 + \delta b_1 - \delta_1 b) 0,5}{\Delta_k} =$$

$$= \frac{\Delta - \Delta_1}{\Delta_k} 0,5 \left(1 + \frac{\delta b_1 - \delta_1 b}{\Delta - \Delta_1} \right),$$

ezt a kifejtett sort a munka képletébe és a fajlagos lóerőszükséglet képletébe helyettesítve:

$$N_k - N_{ii} = 0,01 v_k (\Delta - \Delta_1) \left(1 + \frac{\delta b_1 - \delta_1 b}{\Delta - \Delta_1} \right) q_{sz} \sqrt{z_b} \quad (179/g.)$$

és

$$E = \frac{N_k - N_{ii}}{v_k (\Delta - \Delta_1) \rho} = 1,3 q_{sz} \sqrt{z_b} \left(1 + \frac{\delta b_1 - \delta_1 b}{\Delta - \Delta_1} \right), \quad (184 a.)$$

ez utóbbiban $z_b = \sqrt{\frac{(n_b + 1)(2n_b + 1)}{6n_b}}$ és $n_b = \frac{b}{2\delta \text{ctg} \beta}$.

Alkalmazzuk e képletet adott példára. Tegyük fel, hogy $v_k (\Delta - \Delta_1)$ szorzat értéke az előbbi példában szereplő értékével megegyező, azaz hogy $v_k (\Delta - \Delta_1) = 4000 \text{ cm}^3$ és hogy ugyanazt a minőségű anyagot hengerezljük az ott felvett hőfok-határokon belül s hogy az alakváltozás viszonya $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,3$. Tegyük fel továbbá, hogy a keresztmetszet téglány alakú, azaz $b = 2\delta \text{ctg} \beta = 1,72\delta$ és hogy $\delta = 100 \text{ mm}$, tehát hogy $b = 172 \text{ mm}$. A 177/b. képlet szerint $\frac{b_1}{b} = 1 + 0,33 \left(\sqrt{1,3} - 1 \right)$ ennél fogva $n = 1$ és $z = 1$.

E méretek szerint

$$\Delta = 17200 \text{ mm}^2, \Delta_1 = \frac{100}{1,3} \cdot 172 \cdot 1,047 = 13870 \text{ mm}^2$$

$$\text{és } \Delta - \Delta_1 = 3330 \text{ mm}^2,$$

ennél fogva

$$v_k = \frac{4000}{3330} = 1,2 \text{ m/sec},$$

továbbá következik, hogy

$$\delta b_1 - \delta_1 b = 18000 - 13250 = 4750 \text{ mm}^2$$

és hogy

$$\left(1 + \frac{\delta b_1 - \delta_1 b}{\Delta - \Delta_1} \right) = \left(\frac{4750}{3330} + 1 \right) = 2,42.$$

Ez értékeket a 179/g. és 184/a. képletekbe helyettesítve :

$$N_k - N_{\bar{u}} = 0,01 \cdot 4000 \cdot 2,42 (5,6 \sim 13,5) = 542 \sim 1310$$

$$\text{és } E = 17,6 \sim 42,5.$$

Ha pedig $\delta = 25$ mm, és $b = 688$ mm, akkor $\Delta = 17200$ mm² és mert

$$\frac{b}{2\delta \operatorname{ctg} \beta} = n_b = \frac{688}{44} = 15,6 \text{ és } z_b = \sqrt{\frac{535}{93,6}} = 2,4, \text{ tehát } \sqrt{z_b} = 1,55$$

ezért

$$b_1 = b \left(1 + \frac{\sqrt{\frac{\delta}{\delta_1} - 1}}{z_b^3} \right) = 688 \cdot 1,01 = 695, \text{ mm,}$$

tehát

$$\Delta_1 = \frac{25}{1,3} \cdot 695 = 13380 \text{ mm}^2 \Delta - \Delta_1 = 3820 \text{ mm}^2,$$

és ha feltesszük, hogy $v_k(\Delta - \Delta_1) = 4000$ cm³, akkor $v_k = 1,05$ m/sec.

Ez alapon :

$$\left(1 + \frac{\delta b_1 - \delta_1 b}{\Delta - \Delta_1} \right) = \left(1 + \frac{25 \cdot 695 - 19,2 \cdot 688}{3820} \right) = 2,1.$$

Ezeket az értékeket a 179/g. és a 184/a. képletekbe helyettesítve :

$$N_k - N_{\bar{u}} = 0,01 \cdot 4000 \cdot 2,1 \cdot 1,55 (5,6 \sim 13,5) = 728 \sim 1760$$

$$E = 1,3 \cdot 1,55 \cdot 2,1 (5,6 \sim 13,5) = 23,7 \sim 57.$$

A tartók, sínek stb. alakos tárgyak hengereléséhez szükséges munkát legegyszerűbben úgy számíthatjuk ki, ha a keresztmetszeteket részekre osztjuk. A tartók keresztmetszetét például gerincre, talpra és fejre osztjuk (l. a 105. VIII. ábrát). Minthogy a gerinc négyszög keresztmetszetű, fajlagos munkáját a 184/a. képlettel számítjuk ki :

$$E_g = 1,3 q_{sz} \left(1 + \frac{\delta b_1 - \delta_1 b}{\Delta - \Delta_1} \right).$$

Ha például $\delta = 11,5$, $\delta_1 = 7,5$, $b = 31$ és $b_1 = b \sqrt{\frac{\delta}{\delta_1}} = 39$ mm volna, akkor $E_g = 5,6 (5,7 \sim 13,5)$.

A talprész ez esetben teljesen olyan, mint a fejrész, ezért csak az egyiknek fajlagos munkáját fogjuk kiszámítani. Minthogy az anyag kitolását a ferde lapra ható, a 105. VIII. ábrán Q_v -vel jelölt komponens végzi, ezért ennek értékét kell meghatároznunk, még pedig a csapra ható Q_τ irányú erő függvényében.

Az ábra szerint

$$C = Q_\tau \cos \gamma, \quad Q_v = C \sin \gamma, \quad \text{tehát } Q_\tau = Q_v \frac{1}{\sin \gamma \cos \gamma}.$$

A talprész fajlagos munkaszükségletét, mert a Q_v -re normális síkban a tárgymagasság mérete kis mértékben változik, a 184. képlettel számíthatjuk ki ($E = 2,6 q_{sz}$); csakhogy ez esetben, mert a henger csak közvetve hat, q_{sz} helyett $q_{sz} \cdot \frac{1}{\sin \gamma \cdot \cos \gamma}$ veendő. Ennélfogva:

$$E_t = 2,6 \frac{1}{\sin \gamma \cdot \cos \gamma} q_{sz}.$$

Az ábra szerint $\gamma = 75^\circ$ s mert maximálisan $\gamma = 77^\circ$ lehet, ezért $E_t = 2,6 \cdot (4 \sim 4,56) q_{sz} = (10,4 \sim 11,9) q_{sz}$ s mert $E_f = E_t$, így

$$E = \frac{E_g + E_t + E_f}{3} = \left(\frac{5,6 + 10,4 + 10,4}{3} \right) q_{sz} = 8,8 q_{sz},$$

legnagyobb értéke pedig:

$$E_{max} = \left(\frac{5,6 + 11,9 + 11,9}{3} \right) q_{sz} = 9,8 \cdot q_{sz},$$

továbbá, mert $q_{sz} = 5,6 \sim 13,5$ között ingadozik, ezért $E = 49 \sim 119$ és $E_{max} = 55 \sim 132$.

Hogy számításaink eredményeit a COTEL adataival összehasonlíthassuk, a XXIV. táblázatot közöljük.

XXIV. táblázat.

A hengerüreg alakja	A fajlagos lóerőszám, 1 kg. kiszorított anyagra: E		
	a 184/a. képlet szerint		COTEL számítása szerint
	1200° C.	900° C.	
csúcsíves ...	14,6	35,1	(1321°-nál) 11,2 (1110°-nál) 27,8
téglányalak ...	17,6	42,5	(1264°-nál) 19 (1150°-nál) 39
lemezalak ...	23,7	57	(1133°-nál) 36,6 (994°-nál) 65,1
I alak ...	49 ~ 55	119 ~ 132	(1151°-nál) 39,9 (1012°-nál) 102

Ebből kitűnik, hogy a 184. képletünkkel kiszámított fajlagos munka értékei a kísérleti értékek határain belül fekszenek, miért is ez adatok segítségével meghatározhatjuk a hengerek lóerőszükségletét.

A táblázatba foglalt fajlagos értékek $p_c = 60 \text{ kg mm}^2$ keménységű vasfajra vonatkoznak. Bármely más vasfaj hengerléséhez szükséges fajlagos erő oly arányban változik, amily arányban áll a hengerelendő anyag keménysége a 60 kg-hoz képest.

A motor által hifejtendő hengerlési munkát pedig megkapjuk, ha az alkalmazandó üregre szóló fajlagos lóerőszámot a másodpercenként

kiszorított anyag súlyával és a hideg állapotú vas keménységi viszonyával szorozzuk:

$$N_k - N_{\bar{u}} = v_k (\Delta - \Delta_1) \rho \cdot E \cdot \frac{p_e}{60} \quad (179/h.)$$

Hogy a motor teljesítménye közel állandó legyen, hengerléskor a sebességet a keresztmetszetek kisebbedésével növelni szokás. Nagyméretű keresztmetszetek esetén $v = 1,2$ m, közepes keresztmetszetek esetén $v = 2 \sim 5$ m, vékony árúk hengerléskor pedig $v = 8 \sim 12$ m szokott lenni.

194. A hengerelés folyama alatt a tárgy a kisebb hőfokú környezettel való érintkezése folytán lehűl. De másrészt hengerléskor az alakításhoz felhasznált belső munkával egyenértékű kalóriamennyiség felvétele következtében hőfoka emelkedik. Ha a melegveszteség nagyobb a melegfölvételnél, akkor a tárgy ellenállása fokozatosan nő, ellenkező esetben csökken.

Alakítás folytán a belső erők munkája meleggé válik, ennél fogva az anyag melegnyerésege kalóriában így fejezhető ki:

$$A'_c = \frac{\mathfrak{M}_B}{427} = \frac{\Delta H q_{sz} \ln \delta / \delta_1}{427}, \quad (185.)$$

az ezáltal okozott hőfokemelkedés pedig:

$$t_x = \frac{A'_c}{c_p \cdot G}, \quad (185.a.)$$

ha ugyanis G a hengerelt tárgy súlyát; c_p pedig a fajmeleget jelenti. Izzó vasnál $600 - 1200^\circ \text{C}^0$ között $c_p = 0,26$ -ra vehető.

E képletet egyes példákra alkalmazva kitűnik, hogy hengerelésnél a hőfokemelkedés, mert a q_{sz} kisértékű, a legkedvezőbb viszonyok között is legfeljebb csak 20°C^0 . Ha hideg acélrudat gyors pöröly hatásának tesszünk ki, az izzóvá válik, mert q_{sz} nagyértéke folytán A'_c is nagyértékű.

A melegveszteséget PÉCLET képletével számíthatjuk ki. PÉCLET szerint a melegveszteségnek kalóriákban kifejezett értéke:

$$A''_c = F i_{\Sigma} (t - t_e) (a \varphi + b \psi), \quad (186.)$$

ha ugyanis F a tárgy felületét m^2 -ben, i_{Σ} pedig másodpercekben azt az időt jelzi, amely eltelik az alatt, míg a tárgy a hengerüregen átmegy (i_h) és míg vesztgel (i_v), vagyis míg a tárgy a következő üreg hatása alá kerül; t a tárgynak azt a hőfokát jelzi, amellyel az a számításba vett hengerüregen való behaladásakor birt, t_e pedig a környező levegő hőfokát; a és b az anyagtól függő, φ és ψ pedig a hőmérséklettől függő tényezők.

KOLLMANN*) kísérletei alapján kiszámítottuk az $a \varphi + b \psi$ tag értékét 900° és 1200° között s úgy találtuk, hogy ez csaknem állandó s hogy

értéke 0,04. Ha számításunk egyszerűsítése kedvéért $t_e = 0^0$ -ra vesszük és $a\varphi + b\psi = 0,04$ -re, akkor a 178. képlet így módosul:

$$A_c'' = F i_{\Sigma} t \cdot 0,04,$$

a hőfoksülyedés pedig:

$$-t_y = \frac{A_c''}{c_p G} = \frac{F_{m^2}}{G_{kg}} \cdot \frac{0,04}{0,23} \cdot t \cdot i_{\Sigma} = 0,174 \frac{F_{m^2}}{G_{kg}} t \cdot i_{\Sigma}. \quad (186/a.)$$

Az i_{Σ} idő, amint már jeleztük, két részből áll, a hengerelés és a veszteglés idejéből:

$$i_{\Sigma} = i_h + i_v$$

a hengerelés ideje:

$$i_h = \frac{H_k}{v_k} = \frac{H + H_1}{2 v_k} = \frac{H + H \frac{\Delta}{\Delta_1}}{2 v_k} = \frac{H}{v_k} \left(\frac{1 + \frac{\Delta}{\Delta_1}}{2} \right),$$

a veszteglés ideje pedig $i_v = 4 \sim 5$ mp-nek vehető, ha a henger görgőkkel van felszerelve. A tárgynak az izzító kemencéből a hengerekhez való szállítása 15 mp-et igényel. A hengerelést addig folytatjuk, amíg a lágyvas kezdeti hőfokáról 1200^0 C, az acél pedig 1000^0 C-ról 700^0 -ra lehült. Ha a tárgy ekkor még nem vált kívánt alakúvá, izzító pestbe teendő s újra kezdeti hőfokára felhevítendő. Minthogy az izzító pestek (lángkemencék) 6—7 m-nél hosszabb tárgyak befogadására nem alkalmasak, ezért a a hengerelendő tárgy ismételt felhevítését már akkor végzik, ami ezt a hosszúságot elérte. Az ismételt felhevítés különben mellőzhető, ha a hengerek sebességét fokozzuk, vagy ha a hengerelendő tárgy súlyát csökkentjük.

β₁) Négyhengerű hengerjáratok.

195. Az eddig ismertetett profilos hengerekkel nagyon széles talpú síneket és tartókat nem lehet hengerelni, mert a talp keresztmetszetében levő szomszédos sarokpontok közül az egyik a henger legkisebb, a másik pedig a henger legnagyobb sebességű részével érintkezik. Minthogy a kis sebességű hengerrész az anyagot visszatartja, a nagy sebességű pedig azt erősen nyújtja, ezért az anyagban akkora feszültség keletkezik, hogy ezt a kohézió már ellensúlyozni nem tudja, miért is a test bereped.

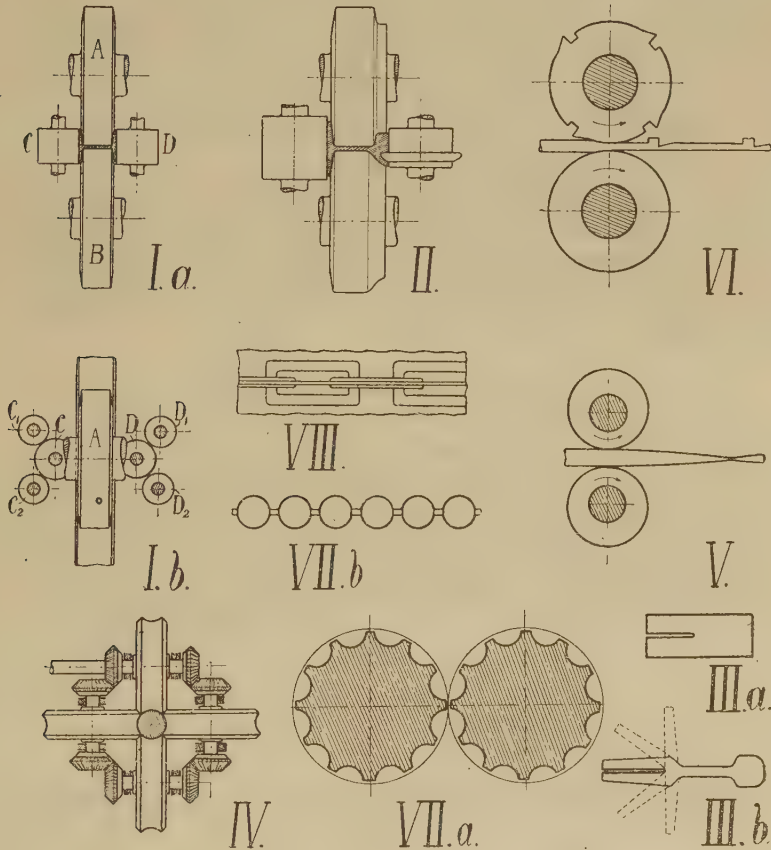
E hátrányos körülményt kiküszöbölhetjük, ha a talp- és a fejrészeket a 104. V. ábrán látott gyűrűs toldatok helyett függélyes tengelyű henger-sorokkal határoljuk, amint ezt a 106. I/a., I/b. és a II. ábrákon látjuk, amelyek a Grey-féle elrendezést mutatják.

A 106. I/b. ábra a hengerjáratot alaprajzban tünteti fel. Ebből kitűnik, hogy a függélyes tengelyű hengerek hajtása, mert csapjuk megerősítésére

*) DR. JULIUS KOLLMANN: Über die Festigkeit des erhitzten Eisens. Berlin, 1880.

elegendő hely nem áll rendelkezésre, két-két közvetítő hengerrel $C_1 C_2$ és $D_1 D_2$ történik.

Széles talpú sínek a *Grey*-féle eljárásen kívül a 106. III. ábrán bemutatott *Toussain*-féle eljárással is készíthetők. Ez eljárásnál a nyújtott rudat először is befűrészelik vagy hemetszik (l. a 106. III/a. ábrát), ezután rendes profilos hengerekkel a 106. III/b. alakra kihengerlik, ezt követőleg



106. ábra.

Négyhengerű és excentrikus hengerű hengerjáratok.

pedig a talprészeket négyhengerű járatokkal izzó állapotban fokozatosan kiegyenesítik.

Körkeresztmetszetű rudakat az eddig ismertetett hengerekkel nem lehet készíteni. A csúcsíves üregek ugyanis csak ellipszishez közel álló alakot adnak a keresztmetszetnek, ha tehát szabályos köralakú keresztmetszetet óhajtunk a rúdunk adni, úgy azt csak négy hengerrel érjük el, még pedig oly elrendezéssel, aminőt a 106. IV. ábra mutat.

γ_1) *Excentrikus hengerű hengerjáratok.*

196. A párhuzamos tengelyű hengerek csak az olyan lemez- vagy rúdalakú tárgyak készítésére alkalmasak, amelyek keresztmetszete az egész hosszban egyforma.

Ha azonban oly hengerelt testek készítendőek, amelyek vastagsága periódikusan változó, akkor oly excentrikus szerszámokat kell használnunk, aminek a 106. V. és VI. ábrák szemléltetnek; ezeknél ugyanis a köpenyfelület egyes részei a tengelytől különböző távolságban vannak, minek következtében a szerszám elforgásakor a szerszám közötti δ_1 köz is változó. Ez eljárással készülnek a lapos rugók lemezei (l. a 106. V. ábrát), a sínszegek (l. a 106. VI. ábrát) és egyéb, csak egyik irányban változó mérettel bíró alakos árúk.

Két irányban változó méretekkel bíró árúk négyhengerű járatokkal készíthetők. A 106. IV. ábrán jelzett 4 hengerrel, ha annak a tárgy közép-tengelyén átmenő metszete a 105. VII/a. ábrának felel meg, gömbfűzészerű rudakat (l. a 106. VII/b. ábrát), valamint láncokat is hengerelhetünk (l. a 106. VIII. ábrát).

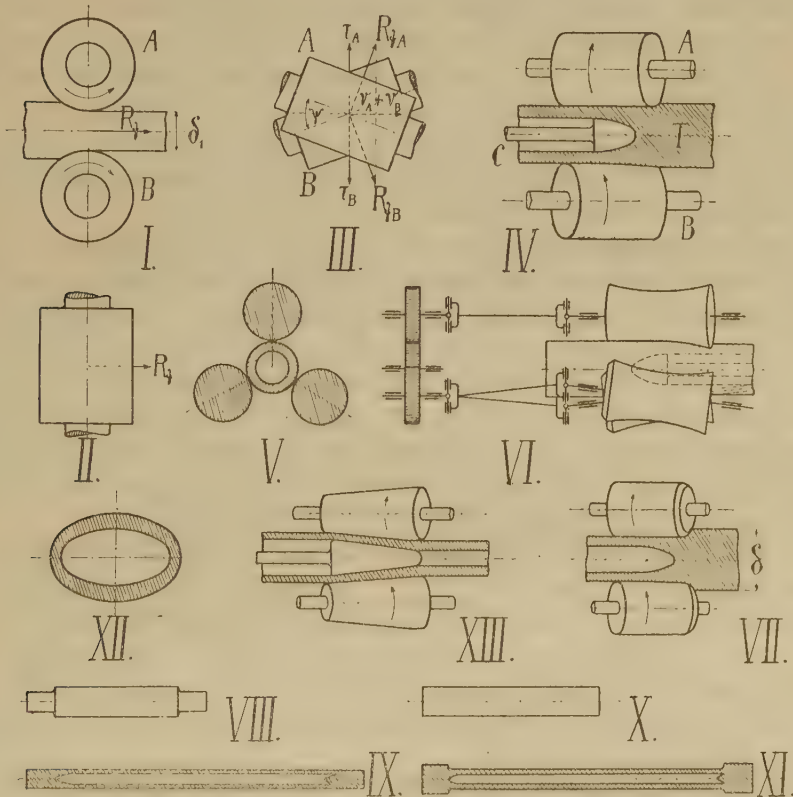
 δ_1) *Ferde tengelyű hengerjáratok.*

197. Az eddigiekben feltettük, hogy a hengerek tengelyei párhuzamosak, miért is a hengerpalást nyomása által okozott Rf surlódás iránya a keresztmetszet síkjában (l. 107. I. ábrát) a sugárra, az alaprajzban (l. a 107. II. ábrát) pedig a tengelyre normális. Tegyük fel már most, hogy a hengerek tengelyei az alaprajz síkjában nem fedik egymást, hanem ψ $\angle$ -et zárnak be, amint ezt a 107. III. ábra mutatja. Minthogy a henger-surlódás az alaprajzban a henger tengelyére normális irányú, az A és B hengerekre ható R_{fA} és R_{fB} surlódások irányai $180 - \psi$ szöveget zárnak be, miért is e surlódások mindenike a $180 - \psi$ szöveget felező v -re és az erre merőleges τ -ra bontható. A v komponensek egyirányúak, ép ezért a $v_A + v_B$ eredő tárgyat ez irányban úgy továbbítja, mint a rendes hengerlésnél az egész surlódás; a τ_A és τ_B komponensek azonban ellenkező értelműek és mert támadó pontjaik δ_1 távolságban vannak, forgató erőpárt alkotnak, amely a tárgyat hossz tengelye körül forgatja. A tárgy forgása következtében az alakváltozás annak egész kerületére kiterjed. Ha a henger átmérője a tárgy vastagságához képest kismértű (l. a 103. II. ábrát), a hengerek a tárgy vastagságának felénél jóval kisebb vastagságú réteget csúsztatnak tovább és ez a réteg a tárgy forgása következtében henger-köpenyszerű alakúvá válik, vagyis csövet alkot.

A csövek gyártásának ezt a módját a *Mannesmann*-féle hengerlésnek nevezzük.

A hengerek hatásfokának növelése céljából *MANNESMANN* a tárgy középső részének haladását mesterségesen gátolja és pedig a hengerek

közé iktatott maggal (l. a 107. IV. ábrán a C-vel jelölt részt), azonfelül a hengerek felületét érdesíti is és mert két ferde henger közül a tárgy könnyen kicsúszhatik, nem két hengert, hanem hármat használ (l. a 107. V. ábrát). További módosítása abban áll, hogy a szerszámoknak hiperboloid-szerű alakot ad, minek folytán a szerszám a tárggyal az egész alkotó mentén érintkezik, amint azt a 107. VI. ábra mutatja. Ez ábrán látható, hogy a hengerlő szerszámok meghajtása, tengelyeik ferde elrendezése követ-



107. ábra,
Ferde tengelyű hengerjáratok.

keztében csak a *Hooke*-féle kulcsokkal való felszerelés esetén esz-
közlhető.

MANNESMANN-nak sikerült a tárgy középső részének haladását mag
nélkül is megakadályozni. E célból a tárgy kezdeti átmérőjét (d) nagyobbra
vette a szerszámok hosszúságánál, hogy a befelé haladó tárgy a szerszám
homloklapjaira ütközzék (l. a 107. VII. ábrát), mert ekkor csak a kerület
letölt része haladhat tovább. E rész haladása folytán a tárgy belsejében
ép oly kúp-süvegszerű üreg képződik, mint a maggal való támasztáskor,
ép ezért ez eljárás teljesen zárt üregű tengelyek készítésére is alkalmas.

Teljesen zárt üregű hengerek készítésére MANNESMANN kétféle eljárást ismertetett. Az egyik eljárásnál a hengerek egymástóli távolsága változatlan, miért is a hengerlendő tárgy alakját a 107. VIII. ábrának megfelelően készítette el, vagyis ennek két végét vékonyabbra vette, úgy hogy e részek a szerszám homloklapjaival nem érintkeztek és egész keresztmetszetükkel továbbhaladhattak, míg a tárgy vastagabb része a szerszámok homloklapjaiba ütközött, ezért csak a kerület eltolt része halad tovább, a testben tehát az előbb említett süvegszerű üreg keletkezik, amint ezt a 107. IX. ábra mutatja. A másik eljárásnál a kihengerlendő tárgy egyforma vastagságú (l. a 107. X. ábrát), de a szerszámok köze változtatható. Ha a szerszámok köze oly nagy, hogy a tárgy azok homloklapjaival nem érintkezik, a tárgy tömör marad, de ha hengerelés közben a szerszámok annyira közelednek egymáshoz, hogy a tárgy a homloklapokba ütközik, üreg képződik (l. a 107. XI. ábrát).

198. A Mannesmann-féle hengerléshez eddig szerszámként forgási testeket használtunk. Ha ezek helyett excentrikus szerszámokat veszünk, a tárgy keresztmetszete elveszti körgyűrűszerű alakját, falvastagsága változó lesz, mert a kisebb hengerköznek megfelelő részekben a szerszám erősebb nyomása következtében a surlódás nagyobb, de a szerszám megfekvésének felülete is nő, ezért e helyen a cső fala is növekszik (l. a 107. XII. ábrát). Az ilyen csövek, ha üregüket homokkal kitöltjük, bármily alakra, így *tartó*- vagy *sín*-alakra is hengerelhetők. Ezzel az eljárással tehát üreges tartókat, síneket stb. gyárthatunk.

A most ismertetett Mannesmann-féle eljárással csak vastagabb falú és aránylag kisebb átmérőjű csövek készíthetők. E csövek átmérője MANNESMANN szerint a 107. XIII. ábrán látott eljárással bővíthető. A cső falát e célból hiperbolikus szerszámokkal rögzített magra toljuk, ezzel a cső vékonyabb falú és nagyobb átmérőjűvé válik. Abban az esetben pedig, ha vékonyabb falú és kisebb átmérőjű csőre volna szükségünk, a csövet üregen kell áthúznunk.

E helyen megemlítjük még, hogy a MANNESMANN-eljárással készült csövek 5—6-szor akkora nyomást bírnak ki, mint a hegesztett csövek; hátránya ez eljárásnak az, hogy csak teljesen egyenletes, azaz zárodmányoktól mentes anyagra alkalmazható és hogy nagy mechanikai munkafogyasztással jár.

ε₁) A hengerelt árúk elnevezése és gyártásuk módja.

199. A hengerelt árúkat vastagságuk (δ), szélességük (b) és hosszúságuk (h) egymáshoz való viszonya szerint szokás elnevezni.

Rúd-nak akkor nevezzük a tömör árút, ha $b = \delta$, vagy ha $b < 3\delta$ és ha hosszúsága sokszorosa a szélességnek. Ez árúkat keresztmetszetük abszolút értéke szerint három csoportra osztjuk. A 70 mm^2 -nél kisebb keresztmetszetűeket *drótoknak*, a $70 \sim 700 \text{ mm}^2$ közöttieket *vékony rúd-*

árúknak, az ennél nagyobb keresztmetszettel bírókat pedig *vastag rúd-árúknak* nevezzük. A keresztmetszet alakja szerint pedig lehetnek a rúd-árúk *kör-, négyzet-, négyszög-* és *alakos keresztmetszetűek*. Az utóbbiak keresztmetszetük alakjától függően **T**, **kettős T**, **Z**, **U** stb. néven fordulnak elő a kereskedelemben. A kör-keresztmetszetűek, ha átmérőjük $\delta < 10$ mm *drótoknak*, ha $\delta = 10 \sim 25$ mm között van, *szegecs-vasaknak*, az ennél vastagabbak pedig *tengely-vasaknak* neveztetnek.

Az olyan áruk, amelyek szélessége $b > 3\delta$ -nál, de $b < 12\delta$ -nál, *pántoknak*, vagy *hevedereknek (platinák)* neveztetnek, feltéve, hogy hosszúságuk sokszorosa a szélességnek.

Ha $b < 20\delta$, de $b > 12\delta$ és a hosszúság sokszorosa a szélességnek, az áru neve *szalag-vas*, ha pedig $b > 20\delta$, akkor *lemeznek* mondjuk.

A lemezek, méreteik abszolút értéke szerint, a következő elnevezést nyerik. Ha $\delta < 1$ mm, $h = 2 \sim 3b$ és $b = 300 \sim 450$ mm közt ingadozik, a lemezárút *bádognak*-, az $1 \sim 3$ mm vastagságút pedig *fedő-lemeznek* nevezik; ezek méretei: 950×680 mm. Ez utóbbi lemezfajtát, ha oxid rétegtől mentesítjük, azután felületét hidegen síma hengerek között simítjuk, *zár-lemeznek* mondjuk. A $3 \sim 5$ mm vastagságú és nagy hosszúságú lemezek neve *hídburkoló-lemez*, míg az $5 \sim 15$ mm vastagságúakat, ha ugyancsak nagy hosszúságúak, *híd-lemezeknek* nevezzük. Az $5 \sim 25$ mm vastag lemezeket azonban *kazán-lemezeknek* nevezzük akkor, ha hosszúságuk nem nagyobb szélességük $2 \sim 3$ -szorosánál. Szélességük: $b = 1600 \sim 2700$ mm. A 25 mm-nél vastagabb kazánlemez neve: *páncél-lemez*.

A most jelzetteken kívül megemlítendőek még a vasúti kerékabroncsok és a hegesztett csövek is.

A hengerelt áruk gyártására vonatkozólag a következőket jegyezzük meg:

200. *Vastag rúd-árúk* gyártásakor az ingotot először is négyszögű, majd a készítendő alak szerint csúcsíves vagy alakos üregeken át hengerlik.

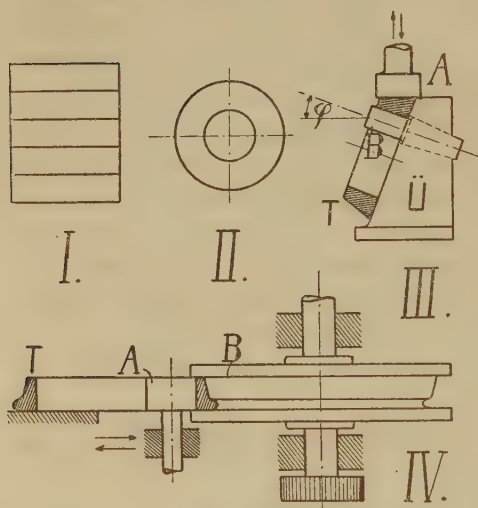
Vékony áruk gyártásakor először is négyszög vagy négyzet keresztmetszetű vastag rudat készítenek, ezt azután oly darabokra nyírják, hogy a további nyújtás egy melegben legyen elvégezhető. Mindaddig, míg az áru vastagsága 8 mm-nél nagyobb, rendes módon a trió járaton nyújtják s ezt a műveletet *nagyolásnak* nevezik. Ezután a tárgyat kisebb átmérőjű, de nagyobb sebességű alakos vagy csúcsíves trió-hengersoron nyújtják, vagyis *finomítják*. A finomításhoz használt hengerek mindenike két üreggel bír. Amint a tárgy az első járat felső üregéből kikerül, azt mintegy két méter átmérőjű körben meghajlítják és kezdetét e hengerjárat alsó üregébe dugják és amint a tárgy ebből is kijött, azonnal a mellette levő henger-járat felső üregébe helyezik be s így járnak el a további üregeknél is. Ez elrendezéssel tehát a vékony áru egyidejűleg sok üregeken halad át, benne rövid idő alatt sok mechanikai munka válik meleggé s

ez okból lehűlése is lassúbb. Az utolsó üregből kijövő árú motollára hengerelhető fel.

A munka sorrendjének ismertetésekor hangsúlyoztuk, hogy az egyik üregből kijövő anyagot a szomszédos üregbe dugjuk. Ezt a műveletet vagy a hengereket kezelő munkások végzik el, vagy pedig oly szerkezetet használnak, amely a henger alól kiszabaduló tárgyat megfelelő körívben elhelyezett csővezetékbe juttatja, hogy abban tovább haladva a következő üreg szájnyílásába kerüljön.

A vékony árúk, ha keresztmetszetük körded, csak addig hengerelhetők, míg átmérőjük 5 mm-nél nem kisebb. A hengerelt drótok legkisebb vastagsága tehát: 4,5~5 m.

201. Bádoggal gyártásánál az eljárás a következő: Az ingotból vastag,



108. ábra.

Vasúti kerékabroncsok hengerlése.

négyszög keresztmetszetű rúdvasat gyártanak, ezt oly hosszú darabokra nyírják, hogy súlyuk a készítendő bádoggal súlyával megegyező legyen. E darabokat először kereszt irányban hengerelik, vagyis a darabok hosszirányát helyezik el a hengerek alkotóinak irányában és ily elhelyezésben a duó- vagy a trió-járaton mindaddig hengerelik, míg a tárgy szélessége a lemez szélességét el nem érte, ezt követőleg pedig a tárgy hosszúsága irányában folytatják a hengerelést. Mihelyt a tárgy vékonyodása következtében a tárgy vastagsága és a henger átmérője között oly viszony áll be, amelynél az ellenállás q_{sz} -ről $q_{sz}\sqrt{z}$ -vé

válík, két darabot fognak össze, ezek elnyújtása után pedig ismételve két ily lemezpárt egyesítenek. A hengerlést azonban egy melegítéssel nem végezhetik el, mert a bádoggal súlya felületéhez képest csekély, vagyis, mert gyorsan hűl le; nehogy azonban az újbóli felmelegítés következtében az egyesített lemezek összehegedjenek, az egyesítéskor a lemezek közé faszénport vagy agyagot hintenek. Az egyesítések dacára a bádoggal szélei a külső levegővel érintkeznek s ezért gyorsabban hűlnek le a belsőbb részeknél. Ez az oka annak, hogy a szélek, melyek nyomás folytán különben is egyenlőtlenül deformálódnak, megrepednek. A bádoggal szabálytalan széleit lenyírással távolítják el.

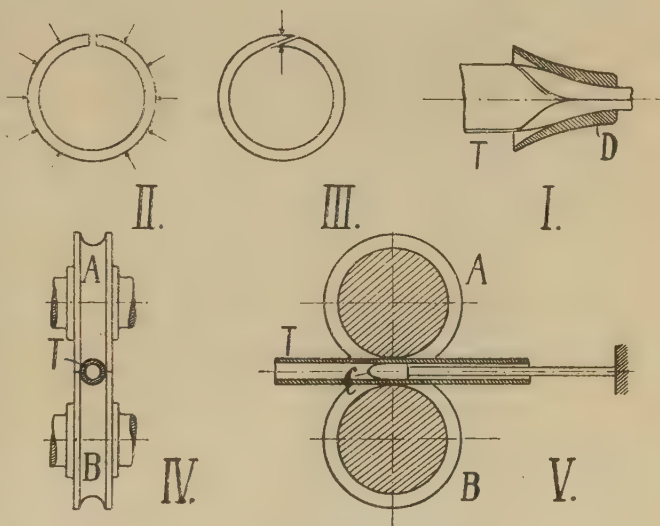
Kazán- és híd-lemezek hengerléséhez univerzális hengereket használnak azért, hogy a szélek egyenlőtlenségét csökkentsék s ezzel a be-

repedést megakadályozzák. Minthogy az ingotot az univerzális járatokon csak egy irányban hengerelhetik, az ingot keresztmetszetét oly nagyra kell választani, hogy az a nyújtás folytán a megkívánt szélességet érje el.

Páncél-lemezeket régebben több vastag lemez összehegesztésével gyártottak, ma azonban azokat ép úgy gyártják, mint a híd- vagy kazán-lemezeket. Ép ezért az ingotkeresztmetszete a készítendő lemez vastagsága arányában növelendő. A hegesztési eljárással készült páncél-lemezekhez különböző szénttartalmú lemezeket használtak, t. i. a páncél-lemez belső lapjai lágyabbak a borftó-lapok pedig keményebbek voltak. Az újabb eljárással készült lemezek külső rétegének keménységét cementálással növelik.

202. A vasúti kerékabroncsokat hegesztés nélkül készítik, ép ezért gyártásuk a rúdárú gyártásától eltérő. Az ingotot először is csúcsíves üregen körded kereszt-

metszetűre alakítják, ezután fűrészsel tárcsákra vágják (l. a 108. I. ábrát), ezeket lyukasztással gyűrűvé alakítják (l. a 108. II. ábrát), a gyűrűt kovácsolással tágítják s egyidejűleg külső lapjának — a futó felületeknek megfelelően — kúpos alakot adnak. Kovácsoláshoz a 108. III. ábrán látott elrendezést használják: t. i. az üllöt (*Ü*) és a *B* jelű hengeres csapot, mely a vízszintessel a futófelület kú-

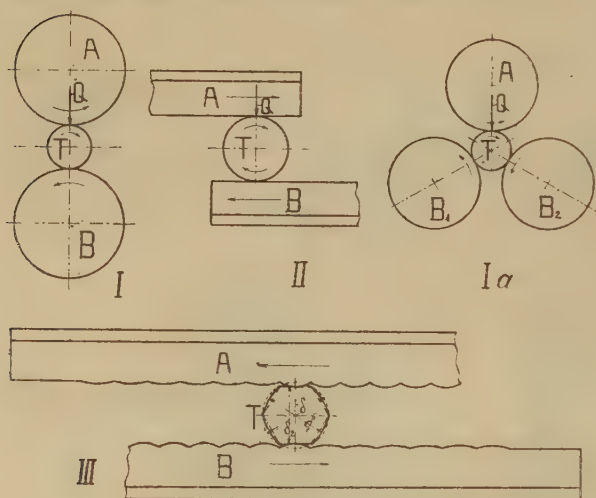


109. ábra.
Hegesztett csövek gyártása.

posságának megfelelő φ -et alkotja. A tárgyat erre a csapra helyezik el, hogy az *A* kalapáccsal alakíthassák. Az ilykép kellőleg tágított gyűrű azután nyomkarimával látandó el, miért is a gyűrűt vízszintes vagy függőleges tengelyű, alakos üreget alkotó hengerpár között hengerelik (l. a 108. IV. ábrát). Hogy a gyűrűt az üregbe tehesék, a hengerek egyikét elmozdíthatóvá készítik. A 108. IV. ábrán látott elrendezésnél a *B* henger csapágái az állvánnyal szilárd kapcsolatban állnak, az *A* henger pedig elmozdítható, ez okból az szabadon futó, vagyis a tengely végére van helyezve; a tengelynek két helyén van csapágó; hajtószerkezettel is van felszerelve és a csapágóira ható hidraulikus sajtóval a *B* hengerhez szorítható.

203. Hegesztett csövek lemezekből készülnek. A lemezeket sávokra vágják, tölcseíves üregen (l. a 109. I. ábrát) áthúzza hengerekkel alakít-

ják, ezután hegesztik. A hegesztést kétféle módon végezhetjük, t. i. vagy a 109. II. ábra szerint a lemezek homloklapjait, vagy pedig a 109. III. ábra szerint az egymásra helyezett széleket hegesztjük össze. Az első eljárást csak akkor alkalmazzuk, ha a csöveket csupán csekély belső nyomásra vesszük igénybe, tehát gázvezetékknél, a másodikat pedig gőz- és vízvezetékek csöveinél. Ez utóbbi esetben, hogy a lemezek hegesztési helye túl-vastag ne legyen, a lemezsávok széleit előbb forgácsolással élezzük. Az ilykép elkészült sávok üregeken való áthúzás után izzító pestbe jutnak, ahol a hegesztés hőfokára felhevítetnek, azután a homloklapok hegesztését maggal támasztott üregeken való áthúzással a később ismertetendő csőhúzó-padon végezzük, a reá-lapított csövek hegesztését pedig a 109. IV. és



110. ábra.
A mángorlás módjai.

V. ábrán látott hengerjáratokkal. Az *A* és *B* hengerek körkeresztmetű üreget alkotnak, amely a cső méretével egyező; ebben a *C* mag foglal helyet. Az izzó tárgy a hengerek közé bocsátandó, ez tehát, mert a reá-lapított széleket a hengerekamaghoz nyomják, össze fog hegedni. A hegesztés sikerét biztosítandó, a csöveket kétszer hegesztik, ezután hidegen maggal támasztott üregeken húzzák át, hogy teljesen hengeres alakúak legyenek és hogy

az anyag rugalmassági határát növeljék. A homlokhegesztésű csöveket hegesztés után sík lapok között mángorolják, hogy pontos hengeres alakot nyerjenek.

δ) *A mángorlás.*

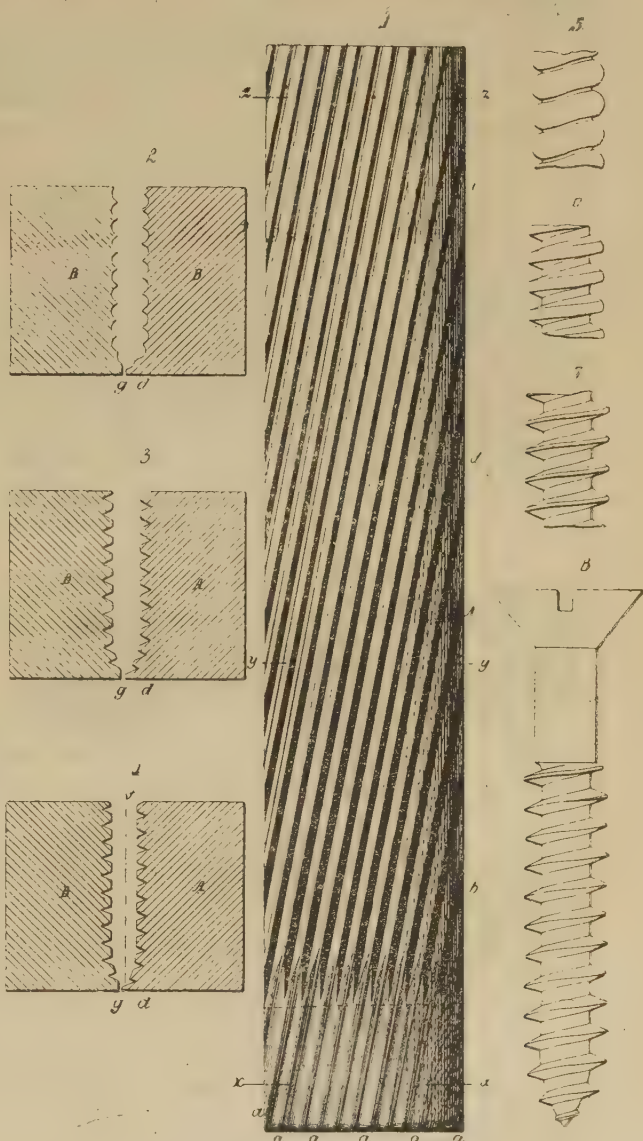
204. Hengerelésnél a tárgy haladó mozgást végez, mert a hengerek érintkező pontjaiban a mozgás iránya egyértelmű; ha azonban a hengerek mozgásirányát ellenkező értelműnek vesszük, a tárgy forgó mozgást nyer. A hengereknek ez utóbbi viszonyok között kifejtett munkáját *mángorlásnak* nevezzük. (Lásd a 110. I. ábrát.) Párhuzamos hengerek csakis alkotójuk mentén fejtik ki hatásukat, de mert az alkotók végtelen keskeny síklapnak tekinthetők, mángorlást oly síklapokkal is végezhetünk, amelyek párhuzamos irányban, de ellentétes értelemben haladnak. (L. a 110. II. ábrát.) Síklapok a tárgy helyzetét jobban biztosítják, mint a hengerpár, épen

azért hengeres alakú szerszámokkal való mángorláshoz három hengert is szokás használni. (L. a 110. I/a. ábrát.) Síma hengerek és síma mángorló-lapok hatása alatt a tárgy hengeres alakú lesz; ez eljárással tehát a hengerelt rudakat és csöveket pontos henger-alakúvá tehetjük. Alakos hengerek és lapok használatakor a tárgy a szerszám kiállóbb részei következtében helyenként nagyobb mértékű alakváltozást nyer; ha tehát e lapok kiállóbb részeinek elrendezése arányos a tárgy lefejtett hosszával, akkor az ilyen szerszámokkal a legkülönbözőbb keresztmetetű alakos rudakat, csavarokat stb. készíthetünk. Megjegyezzük, hogy a tárgy alakváltozása ez esetben is csak fokozatos lehet,

ezért a $\frac{\delta}{\delta_1}$ értéke

1,1 ~ 1,2 között választandó. Ebből következik, hogy a mángorló-lapok hossza a tárgy kerületének oly (x) számú sokszorosa, amely egyenlő a 187. pontban ismertetett át-bocsátások számával:

$$x = \frac{\lg \frac{\delta}{\delta_x}}{\lg \frac{\delta}{\delta_1}}$$



111. ábra.
Csavarok mángorlása.

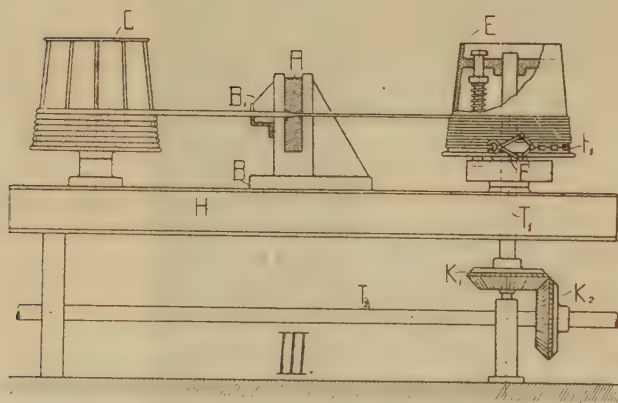
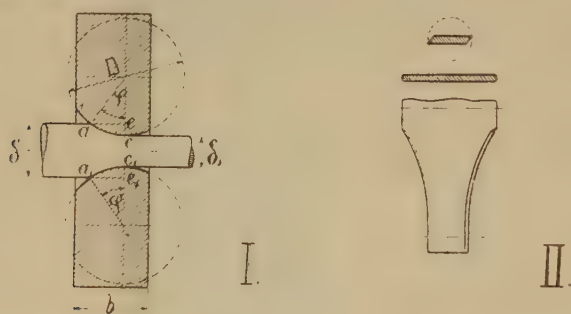
A 110. III. ábrán látható hatszögű rúd mángorlásához csak kétszer akkora mángorló-lapok kellenek, mint a mekkora a tárgy kerülete, ellenben a 111. ábrán látott csavarok mángorlásához ötször akkora mángorló-lapok.

Csavarok mángorlását az eljárás nagy munkaképességénél fogva igen elterjedten használják, főleg kisebb fém- s vascsavarokhoz. A mángorlást hidegen végzik, ezért mángorolt tárgyak csakis képlékeny anyagokból készíthetők.

ε) Áthúzás gyűrűs ürege.

α₁) Drótok és rudak áthúzása gyűrűs ürege.

205. A 87. pontban kifejtettek szerint gyűrűs üregeknek azt a szer-
számot nevezzük, amely akkor képződik, ha a duójárat keresztmetszetét



112. ábra.

A dróthúzóüreg és motolla.

alkotó köröket a tárgy középvonalán áthaladó tengely körül forgatjuk. Hogy az ilyen gyűrűs ürege (l. a 112. I. ábrát) a vékony s hosszú tárgyak átjussanak, áthúzendők ezen, a rövid és nagyobb keresztmetszettel bírók pedig átsajtolandók.

A külső munka lehető nagy hasznosítása céljából az üreget úgy kell meg szerkeszteni, hogy a tárgy egyenletes alakítása egyenletesen elosztott erővel történjék.

Minthogy a gyűrűs ürege való át-
húzásnál az alakváltozás a tárgy tengelyén áthaladó fősíkban

ugyanacsak a 103. III. ábrán jelzett módon megy végbe, a fenti követelményeknek akkor teszünk eleget, ha a $\frac{D}{\delta_1}$ viszonyt a XXIII. táblázat szerint választjuk. Minthogy dróthúzásnál a $\frac{\delta}{\delta_1}$ alakváltozás tényezőjét 1,3-nál nagyobbra vesszük, a fenti viszonyt 7-re kell vennünk.

Ekkor $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,1 \sim 2$ határok között sem lesz kötöttség. A gyűrűs üregek tehát olyképp szerkesztendők, hogy $\frac{D}{\delta_1} = 7$ legyen.

Minthogy az elmondottak szerint áthúzáskor a 103. III. ábrán jelzett változások érvényesülnek, ha ugyanis a húzóerő hatásától eltekintünk, ezért a képlékeny anyagoknál legyőzendő belső munkát a 163/b. képlettel fejezhetjük ki, ha K helyébe a másodpercenként alakított köbtartalmat tesszük és ha figyelembe vesszük, hogy az üreg két csúcsíves hengerpár egyesített hatását fejtí ki, vagyis, ha a belső munkát a 163/b. képlet kétszeresével fejezzük ki. Minthogy

$$K = \Delta v = \Delta_k v_k = \Delta_1 v_1,$$

ezért

$$2\mathfrak{N}_B = \Delta_k v_k q_{sz} 2 \ln \frac{\bar{\delta}}{\bar{\delta}_1} \text{ és } N_B = \frac{\Delta_k v_k}{75} q_{sz} 2 \ln \frac{\bar{\delta}}{\bar{\delta}_1}. \quad (187.)$$

Gyűrűs üregnél csap-surlódás nincs, a szerszám és a tárgy közötti surlódás azonban fontos szereppel bír. Ez a surlódás csúcsíves duójáratnál, ha a hengerek forgását valamelyes módon megakadályoznók és a tárgyat a henger üregén át áthúznók, $2 R f \cdot v_k$ értékkel volna kifejezhető, de mert a gyűrűs üregen való áthúzás folytán a keresztmetszet nemcsak a $\bar{\delta}$, hanem a b irányában is módosul, vagyis mert a gyűrűs üreg hatása olyan, mint ha egyidejűleg négy henger hatna a testre, a surlódás munkáját az előbbi érték kétszerese fejezi ki, vagyis:

$$4 R \cdot f \cdot v_k.$$

Ez alapon a surlódás legyőzéséhez szükséges munka lóerőkben kifejezve:

$$N_s = \frac{4 R}{75} \cdot f v_k. \quad (188.)$$

Ha R helyébe ennek a 181/b. egyenlettel kifejezett értékét tesszük, képletünk alakja ez lesz:

$$N_s = \frac{2}{75} \Delta_k \cdot v_k \cdot q_{sz} \cdot \ln \frac{\bar{\delta}}{\bar{\delta}_1} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2D}{\bar{\delta} - \bar{\delta}_1} - 1} \quad (188/a.)$$

és mert alakváltozáskor a külső erőnek a 187. és a 188 a. képletekkel kifejezett munkák összegét kell legyőznie, az alakváltozással járó munka képlete, ha $2 \ln \frac{\bar{\delta}}{\bar{\delta}_1}$ helyett $\ln \frac{\Delta}{\Delta_1}$ jelzést használunk:

$$N_k - N_{ii} = N_B + N_s = \frac{\Delta_k v_k}{75} q_{sz} \ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \cdot \left(1 + f \sqrt{\frac{2D}{\bar{\delta} - \bar{\delta}_1} - 1}\right). \quad (189.)$$

E képletnek zárójel előtti része a belső munkát fejezi ki, a zárójelben lévő rész tehát a hasznosítás fokának reciprok értékét adja, vagyis

$$\frac{1}{\eta} = 1 + f \sqrt{\frac{2D}{\bar{\delta} - \bar{\delta}_1} - 1} = 1 + f \sqrt{\frac{14}{\bar{\delta} - \bar{\delta}_1} - 1}. \quad (190.)$$

Ha a munka képletébe az $\frac{1}{\eta}$ kifejezést behozzuk és $\Delta_k v_k$ helyébe $\Delta_1 v_1$ értéket teszünk, akkor ennek alakja így módosul:

$$N_k - N_{ii} = \frac{1}{\eta} \frac{\Delta_1 v_1}{75} \cdot q_{sz} \ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \quad (189/a.)$$

Minthogy az e képlettel kifejezett munkát az üregből kikerült tárgyra ható P húzóerő győzi le s mert ez erő útja v_1 , a munkák egyenértékét így írhatjuk fel:

$$\frac{P v_1}{75} = \frac{\Delta_1 v_1}{75} q_{sz} \ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \cdot \frac{1}{\eta}$$

ebből:

$$P = \Delta_1 q_{sz} \ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (191.)$$

és mert $P = \Delta_1 p_1$, következik, hogy

$$p_1 = q_{sz} \ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (191/a.)$$

Ámde a gyűrűs üregen való áthúzás csak addig foganatosítható, míg

$$p_1 < p_e, \quad (191 b.)$$

mert ezentúl a tárgy kontrahál és elszakad.

Ha ez egyenlőtlenségben p_1 értékét a 191/a. egyenletből, a p_e értékét pedig az összetartozó feszültségek egyenletéből $p_e = q_e \operatorname{ctg}^2 \beta$ -ból helyettesítjük, akkor alakja ilyen:

$$q_{sz} \ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \cdot \left(1 + f \sqrt{\frac{14}{\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1} - 1}} \right) < q_e \operatorname{ctg}^2 \beta; \quad (191/c.)$$

minthogy pedig a képlékeny anyagnál $q_e = q$ és $q_{sz} = q(1 + \operatorname{tg}^2 \beta)$, ez értékek helyettesítése után az alakváltozás foganatosításának feltétele így módosul:

$$\ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \left(1 + f \cdot \sqrt{\frac{14}{\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1} - 1}} \right) < \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \beta (1 + \operatorname{tg}^2 \beta)} = a. \quad (191/d.)$$

E képletből kitűnik, hogy az üregen való áthúzás lehetőségének feltétele a $\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1}$ viszonyon kívül a surlódás tényezőjétől és az elmozdulás irányvonalainak hajlásától is függ. Izzó vasra vonatkozólag $\operatorname{tg}^2 \beta (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) = 3$, tehát az irányvonalak hajlásszögétől függő tényezői $a = 0,33$, hideg, de kilágyított állapotú vasfajokra a III. táblázat szerint $\operatorname{tg}^2 \beta = 1,17 \sim 1,25$ és így $a = 0,35 \sim 0,39$; ha azonban az anyag már egyik irányban alakítva volt, akkor a 29. pont értelmében β kisebb is lehet 45° -nál, ezért dróthúzásnál $a = 0,37 \sim 0,50 \sim 0,70$ értékeket vehet fel. A surlódás tényezője is nagy határok között ingadozik, értékei a következők:

$$f = 0,3 \quad 0,2 \quad 0,1 \quad 0,04 \quad 0,02 \quad 0,01.$$

Hogy a 191./d. képlettel kifejezett feltételek számértékeinek határait megállapíthassuk, szükséges, hogy a $\ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \cdot \left(1 + f \cdot \sqrt{\frac{2 \frac{D}{\bar{\varepsilon}_1}}{\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1} - 1}} - 1 \right)$ értékeit ismerjük, ezek a következők:

XXV. táblázat.

		$\ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \cdot \frac{1}{\eta}$ értékei				
		ha $f =$				
		0,3	0,2	0,1	0,04	0,01
$\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1}$ és ha $\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1} =$	1,1	0,82	0,6	0,39	0,26	0,2
	1,2	1,25	0,94	0,66	0,48	0,39
	1,3	1,58	1,22	0,87	0,66	0,55
	1,4	1,86	1,47	1,08	0,84	0,71
	2,0	2,87	2,36	1,86	1,57	1,44

E számértékekből kitűnik, hogy a gyűrűs üreggel az alakváltozás $f = 0,3$ esetén már egyáltalán nem végezhető, kisebb surlódási tényező esetén pedig csak akkor, ha $\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1}$ értékei az alábbi határok között mozognak:

ha ugyanis $f = 0,2; 0,1; 0,04; 0,01,$

akkor $\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1} = 1,1; 1,1 \sim 1,2; 1,1 \sim 1,3; 1,1 \sim 1,4.$

Az alakváltozás megengedhető határait és f értékét ismerve, a 190. képlettel kifejezett hatások reciprok értékét is kiszámíthatjuk.

Ez értékeket áttekinthetőség kedvéért a XXVI. táblázatba foglaltuk.

XXVI. táblázat.

$\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1}$	$\left(\frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1} \right)^2 \frac{\Delta}{\Delta_1} - 1 + \lambda_1$	$\frac{\Delta - \Delta_1}{\Delta_1} - \lambda_1$	$\frac{\Delta - \Delta_1}{\Delta} = \varphi$ $= \frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1}$	$\ln \frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\varepsilon}_1}$	$\frac{1}{\eta}$ értékei, ha f			
					0,2	0,1	0,04	0,01
1,1	1,21	0,21	0,17	0,09	3,36	2,17	1,47	1,11
1,2	1,44	0,44	0,30	0,18		1,83	1,33	1,08
1,3	1,69	0,69	0,41	0,26			1,27	1,06
1,4	1,96	0,96	0,49	0,34				1,05
1,5	2,25	1,25	0,56	0,40				
2	4	3	0,75	0,69				

Mint ahogy a surlódás tényezőjének értéke a hatásfokot nagyon befolyásolja, annak lehető csökkentéséről kell gondoskodnunk. Kísérleti eredmények alapján tudjuk, hogy érdes felületű üregnél $f = 0,3$, ilyet azonban nem használhatunk, mert a drót a surlódás következtében a fentebbiek szerint elszakad; tudjuk továbbá, hogy síma oxidmentes vassfelületek között a surlódás tényezője kenés nélkül: $f = 0,20$. De mert a XXV. táblázat szerint az alakváltozás ekkor csak $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,1$ lehet, ezért a surlódás tényezőjének további csökkentéséről kell gondoskodnunk. Ezt elérjük, ha a szerszámot edzett acélból készítjük, fényesre csiszoljuk és az érintkező felületeket jól megkenjük, ezzel ugyanis a surlódás tényezője a kenés hatályától függően: $0,1 \sim 0,04$ -re csökkenthető. Mint ahogy a kenőszer a nyomás növekedésével kiszorúl, kemény anyagok alakításakor a kenés tökéletlenebb, ezeknél tehát $f = 0,06$ értékű, holott lágy anyagoknál $f = 0,04$.

Csökkenthető továbbá a surlódás tényezője azáltal is, hogy a gyűrűs üreget az acélnál finomabb szemcsés szerkezetű anyagból készítjük.*) Ilyen az achátkő és a gyémánt. Gyémántba fúrt üregben a surlódás tényezője: $f = 0,01$.

206. A szerszám anyagának szemcse-finomsága nemcsak a surlódás tényezőjét, hanem a furat átmérőjét is befolyásolja. Minél keményebb és finomabb szemcséjű az anyag, annál kisebb lehet a furat s annál finomabb számú,**) azaz vékonyabb átmérőjű drótok készíthetők vele. Az acél-üregben a legkisebb furat átmérője: $\delta = 1,2$ mm, a gyémántban: $\delta = 0,03$ mm.

A drót minimális vastagsága nemcsak a rendelkezésünkre álló üregtől, hanem az alakítandó anyag minőségétől is függ.

Vasanyagból ugyanis $0,1$ mm.-nél vékonyabb drótot nem készíthetünk, ellenben rézből $0,06$ mm.-est, ezüstből és platinából pedig $0,03$ mm.-est is lehet készíteni.

Az átmérő legalsóbb határát ugyanis a 16. VI. ábra szerint az alakítandó anyag szemcséinek mérete határozza meg; amint a drót vastagsága kisebb a szemcse háromszorosánál, a szemcsék legnagyobb részben a tárgy felületét alkotják, tehát a szerszámmal surlódnak, vagyis mozgásukban gátolva vannak. Ha e gátlást a szemcse közötti kohézió legyőzni nem képes, az anyag bereped. Ebből a jelenségből azonban az következik, hogy ha a felületen fekvő szemcsék surlódását csökkenthetnők, a nyújtást tovább is lehetne folytatni.

*) Acélüregekhez a 112. I. ábra szerint $b = 5 \delta_1$ vastagságú lemezt használunk. Ebbe a δ_1 átmérőjű furatot fúrjuk, azután a 112. II. ábra szerint fúróval elkészítjük az üreg mellső oldalát, majd pedig a hátsót; végre az üregnek a tárggyal érintkező felületeit csiszoljuk és megedzzük.

A gyémántokat csak átfúrják. E műveletet gyorsan forgó és tengelyirányban lengő acéltűvel végzik.

**) Kereskedelmi szokás szerint a drótok finomsági számát a millimeterben kifejezett átmérő tízszeres értéke adja, vagyis: $91 = 10 \delta$ mm.

A surlódást csökkenthetjük, ha az alakítandó vékony drótot nem az álló üregeggel, hanem vele azonos sebességgel haladó más anyaggal hozzuk érintkezésbe. E célból az alakítandó drótot jól alakítható és a drót keménységével majdnem azonos keménységű anyaggal bevonjuk, borítjuk vagy burkoljuk. E réteg vastagsága lehetőleg akkora legyen, mint a drót átmérője. Ez eljárást *burkolt* vagy *bélelt drótok húzásának* nevezik. Használják azt vékony platinadrótok gyártásához. E célból a platínát vassal szokás burkolni és ekkor platinából 0.002 mm vastagságú drótot is gyárthatnak. A platináról a vasburkot savval távolítják el. Minél finomabb a drót, annál kisebb a hosszúsága. Így például a 0,03 mm-es átmérőjű platinadrótnak hossza korlátlan, a 0,02 mm-esé azonban legfeljebb 1500 ~ 500 mm, a 0,002 mm-esé pedig csak 7 mm lehet.

A bélelt drótok gyártásának módját nemcsak vékonyabb drótok készítésénél, hanem nemes fémekből készült drótok árának csökkentése céljából is használják. Olcsóbb ezüst-drótokat például úgy készíthetünk, hogy a formában magnak rézrudat helyezünk el és ezt ezüsttel körülföntjük. Az így nyert ezüst-csővet magjával együtt üregeken való áthúzással vékonyítjuk. Az ily módon készült vékony ezüst-drótnak éppen oly arányos rézmagja van, mint a minő magja az ezüst-csőnek volt.

A gyűrűs üregek alakjára vonatkozólag megjegyezzük, hogy azok a körtől eltérő keresztmetszetűek is lehetnek, így például lencseszerű, négyzet- vagy téglány-alakú keresztmetszetűek vagy ennél is komplikáltabb alakúak, pl fogaskerékszerűek. Gyűrűs üregekkel tehát a legkülönbözőbb keresztmetszetű rudak és drótok készíthetők.

207. A 189. képlet levezetésekor feltételeztük, hogy az anyag képlékeny és hogy húzóhatás nincs. Ámde szívós alakításkor a szűrő keménység (q_{sz}) a 84. pont 66. képlete értelmében folyton változó értékű, a húzóerő pedig a 30. p. szerint a nyomást részben helyettesíti, ezért

$$q_{sz} = \frac{q_1 + q_2}{2} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) - \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q_1 + q_2}{2} \operatorname{tg}^2 \beta. \quad (192.)$$

E képletben q_1 az anyagnak a kérdéses üregeken való áthúzása előtti nyomókeménységét közvetlenül kilágyítás után, az első üregeken való áthúzáskor tehát a kilágyított anyag keménységét, a későbbi üregeken való áthúzáskor pedig az előző üreg elhagyásakor bírt keménységet jelenti, ellenben a q_2 az anyagnak a figyelembe vett üregeken való áthúzása utáni keménységét jelzi. Úgy q_1 , mint q_2 értéke a kilágyított állapottól számított teljes megnyúlások alapján az 50. pont 32. képlete segítségével számítható ki.

E képlet szerint

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= q_a + \frac{q_{\max} - q_a}{\lambda_{\max}} \left[\frac{2 \lambda_{\max} \lambda_1 - \lambda_1^2}{\lambda_{\max}^2} \right], \\ q_2 &= q_a + \frac{q_{\max} - q_a}{\lambda_{\max}} \left[\frac{2 \lambda_{\max} \lambda_2 - \lambda_2^2}{\lambda_{\max}^2} \right], \end{aligned} \right\} \quad (193.)$$

ha ugyanis λ_1 a kilágyított állapotból számított összes megnyúlást jelzi, amelyet a köbtartalom állandóságából így határozhatunk meg:

$$\Delta h = \Delta_1 h_1, \text{ ebből } \frac{h_1}{h} = 1 + \lambda_1 = \frac{\Delta}{\Delta_1},$$

$$\text{tehát} \quad \lambda_1 = \frac{\Delta - \Delta_1}{\Delta_1} \quad \text{és} \quad \lambda_2 = \frac{\Delta - \Delta_2}{\Delta_2}. \quad (194.)$$

Hangsúlyozzuk, hogy a 192., 193., 194. képletek csak addig használhatók, míg a tárgynak a kilágyított állapotból számított teljes megnyúlása nem nagyobb a λ_{max} -nál, vagyis míg $\lambda < \lambda_{max}$; ezentúl, mert ekkor az anyag képlékeny anyagváltozást szenved, a q értéke állandó és nagysága:

$$q_{sz} = q_{max} tg^2 \beta. \quad 192/a.$$

Hogy a szívós és a képlékeny anyagok szűrő keménysége a λ_{max} -ig nő, ezután pedig állandó, az DR. W. MÜLLER kísérleteiből is kitűnik.*) Ő ugyanis vastag rudakat húzott gyűrűs üregeken át s azok keménységét minden üregeken való áthúzás után a Brinell-féle eljárással határozta meg s mert e számértékek a teljes megnyúlások függvényében ellipszisszerű görbét eredményeztek, ez a körülmény kétségtelen bizonyítéka annak, hogy a szűrő keménység kezdetben másodfokúlag változott, később, vagyis a λ_{max} elérése után állandó maradt.

Minthogy az olyan anyagok, amelyek csak szívósak, vagy csak kis mértékben képlékenyek, a λ_{max} értékét túlhaladó méretnövelés után elrepednek, azért ezeket többszörös kilágyítással nyújtják.

A gyűrűs üregeken áthúzott anyagok jellemzőjeként felemlítjük, hogy azok szakítószilárdsága és keménysége sokkal nagyobb, mint a rendes húzással elszakított anyagé. Gyűrűs üregben ugyanis az alakváltozás nyomás folytán megy végbe, nyomásnál pedig az anyag teljes szívóssága érvényesül, még pedig a 48. pontban kifejtettek szerint a test minden részében, miért is az anyag keménysége a test minden részében q_{max} -ig fokozható, szakítószilárdsága pedig, mert λ_e ekkor zérus értékű: $\sigma = p_{max} = q_{max} tg^2 \beta$, holott a rendes húzással megnyújtott drót szilárdsága

$$\sigma = \frac{p_e}{1 + \lambda_e} \text{-nél nagyobb nem lehet.}$$

Képleteink használhatóságának ellenőrzésére a 11. ábrán látható szakítógépen dróthúzó kísérletet is végeztünk. A húzóerő változását a szakítógép rajzolókészüléke tette szemlélhetővé.

A használt üregeknél $\frac{D}{\bar{e}_1} = 9$ volt; az üregek símák voltak ugyan,

*) Lásd DR. W. MÜLLERnek a Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1915. évi 46. számában megjelent Kupfer und Bronze című cikkét, valamint DR. MIKLÓSI KORNÉLnak az Anyagvizsgálók Közlönye 1916. évi számában megjelent Húzott vörösréz-drótok tulajdonságai című közleményét.

de nem csiszoltak, a kenés vazelinnel történt. A surlódás tényezője ép ezért mindkét üregnél: $f = 0,06$ volt.

Kísérletünket kilágyított vörösrézrel végeztük. Ennek értékei: $p_a = 6,9$, $\lambda_1 = 0,12$ -nél $p_1 = 20$, $\lambda_2 = 0,20$ -nél $p_2 = 22$ és $\lg^2 \beta = 1,1$. A kísérlet eredményeit a XXVII. táblázatba foglaltuk.

XXVII. táblázat.

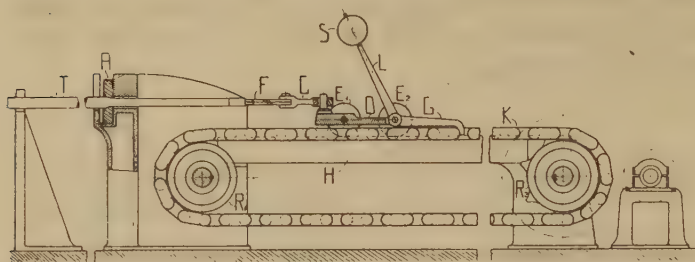
σ	σ_1	$\frac{\sigma}{\sigma_1}$	$\frac{\Delta}{\Delta_1}$	Δ_1 mm ²	$\ln \frac{\Delta}{\Delta_1}$	q_{sz}	$\frac{1}{\eta}$	f	A húzóerő P	
									Számítva	Kísérleti ért.
8,09	7,22	1,12	1,25	40,9	0,228	$\frac{6,9 + 26,8}{2} \cdot 1,46$ $= 24,50$	1,5	0,06	341	366
7,22	5,86	1,23	1,51	27	0,412	$\frac{26,8 + 34}{2} \cdot 1,46$ $= 44,4$	1,34	0,06	661	649

E táblázatból képleteink használhatósága igazolást nyert.

208. A gyűrűs üregeken való áthúzáshoz drótok gyártásánál a 112. III. ábrán vázolt dróthúzómotollát használják. Ennek lényege a következő. Az A gyűrűs üreg a B állványrészben függőleges síkban elmozdíthatóan van elhelyezve. A nyújtandó drót tengelye körül szabadon forgó C motollára van elhelyezve, onnan az üregeken áthaladva a transzmisszió által hajtott E dobra kerül. A tárgy végét megvékonyítják, az üregeken átdugják, azután pedig az F fogóval megfogják és mert e fogó az F_1 lánccal az E dobhoz van kötve, azért a dob, forgása következtében, a drótot az üregeken áthúzza s ez ugyanakkor a motollára csévelődik fel. Vastagabb drótok áthúzásakor a drót haladása: $v_1 = 0,6 \sim 1$ m/sec, vékonyabb drótok esetén $v_1 = 1,5 \sim 2$ m/sec. A motolla üres járata 0,3—0,6 lóerőt igényel.

A most ismertetett motolla használata esetén vasdrótok gyártásánál a munka sorrendje a következő. A hengerelt drótokat kilágyítják, azután oxidrétegüket 10%-os kénsavval eltávolítják, savfürdő után mésztej-fürdőbe teszik, hogy a savat közömbösítsék és e fürdőből kivéve megszáritják. A drótot az üreg előtt elhelyezett B_1 tartály zsiradékán húzzák át; ez a rajta lévő mésszel nehezen folyós mésszszappant alkot, amely jó kenőszer. A szívósságától megfosztott drótot kilágyítják, azután az előbb ismertetett műveletek sorrendjét megtartva, tovább nyújtják. Vékonyabb drótok nagyobb v_1 haladásuk folytán a sűrű kenőszeren való áthúzással nem vonódnak be kellően, ezért az egész dróthúzó motollát híg kenőszerrel telt teknőben helyezik el.

209. Körkeresztmetszettől eltérő keresztmetszettel bíró vastagabb drótok, főleg ha anyaguk acél, csak kurtább darabokban, t. i. 1—2 m

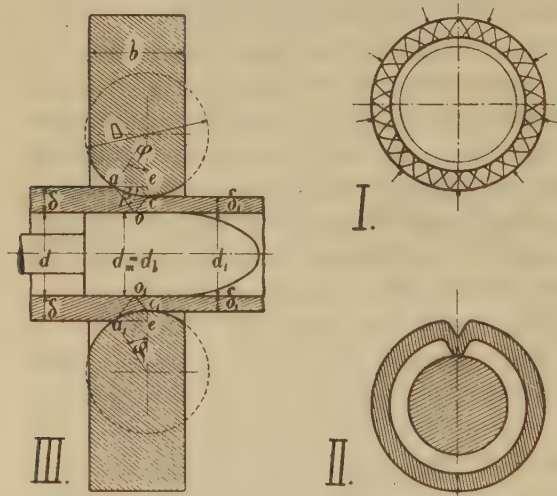


113. ábra.
Húzópad.

hosszban készülnek. Ilyenkor a gyűrűs üregen való áthúzáshoz a 113. ábrán látható húzópadot használják.

Ugyancsak húzópadon készülnek a 7 mm-nél vastagabb rudak is, de ezek

hosszúsága már 5—6 m. A húzópad lényege 113. ábra szerint a következő: A tárgy elhajlásának kiküszöbölése céljából az F fogót a C taggal az egyenesben vezetett D kocsihoz kötik, a húzás kifejtése céljából a D kocsi pedig a G kampós kilincs útján a vég nélküli K csuklós láncba akasztják. A húzópad üres járása 1—3 lóerőt kíván.



114. ábra.
Csövek húzása.

β₁) Csövek és edények gyűrűs üregen való áthúzása.

210. Gyűrűs üregben a csövek és edények alakváltozása aszerint módosul, hogy az üreg ki van-e töltve vagy nem? Ha a tárgy ürege nincs kitöltve, vagyis ha a cső fala belsőleg támasz nélkül marad, akkor anyaga a külső nyomás következtében a 114. I. ábrán látható elmozdulások irányvonalaival mentén a külső faltól a belső fal felé halad, miért is a

belső fal kidomborodik. Minthogy pedig az anyag alakváltozása teljesen egyformán nem megy végbe s mert az a hely, amelynek anyaga már képlékeny alakváltozást szenvedett, továbbra is erősebben alakul a többinél, beáll az az eset, hogy a külső fal behorpadása és a belsőnek kidudorodása oly nagy méretet ölt, hogy ez a cső falának fél-vastagságát is túléri. (L. a 114. II. ábra). Ámde ekkor a külső fal oxidos részei

kerülnek érintkezésbe egymással, amelyek ráncokat, tehát hibás felületet okoznak; ekkora duzzadást épen ezért nem szabad megengednünk.

E káros jelenséget elháríthatjuk, ha az üreges tárgyba magot helyezünk el. A mag átmérője (d_m) teljesen akkora lehet, mint a cső belső falának (d_b) átmérője, de lehet ennél kisebb is. Az első esetben az üregen való áthúzásakor a cső fala az A üreg és a B mag közé szorul, anyaga tehát csak a 114. III. ábrán jelölt fősíkban mozdulhat el. Ilyenkor, hogy az alakváltozás egyenletes erővel menjen végbe, szükséges, hogy az üreg alkotó körének átmérője legalább akkora legyen, hogy a és c végső érintkező pontjából meghúzott irányvonalak metszéspontja (0) a cső belső falát érje (l. a 114. III. ábrát). Ennek akkor teszünk eleget, ha a D átmérő és a tárgy vastagsága között az ábrán látható geometriai összefüggést biztosítjuk. Hogy e feltételt képlet alakjában felírhassuk, fejezzük ki az ae és ec hosszúságokat a D és a δ függvényeként:

$$ae = \delta \operatorname{ctg} \beta + \delta_1 \operatorname{ctg} \beta = \frac{D}{2} \sin \varphi,$$

ebből $\sin \varphi = 2 \operatorname{ctg} \beta \frac{\delta + \delta_1}{D}$

és $ec = \delta - \delta_1 = \frac{D}{2} - \frac{D}{2} \cos \varphi,$

ebből $\cos \varphi = 1 - 2 \frac{\delta - \delta_1}{D};$

de mert $\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1,$

azért következik, hogy

$$1 = 4 \operatorname{ctg}^2 \beta \left(\frac{\delta + \delta_1}{D} \right)^2 + 1 + 4 \left(\frac{\delta - \delta_1}{D} \right)^2 - 4 \frac{\delta - \delta_1}{D},$$

ebből pedig, hogy

$$\operatorname{ctg}^2 \beta \cdot (\delta + \delta_1)^2 + (\delta - \delta_1)^2 = (\delta - \delta_1) D$$

és hogy $\operatorname{ctg}^2 \beta + \left(\frac{\delta - \delta_1}{\delta + \delta_1} \right)^2 = \frac{\delta - \delta_1}{\delta + \delta_1} \cdot \frac{D}{\delta + \delta_1};$

de mert $2 \left(\frac{\delta - \delta_1}{\delta + \delta_1} \right) = \ln \frac{\delta}{\delta_1},$

azért $\frac{D}{\delta_h} = \frac{4 \operatorname{ctg}^2 \beta}{\ln \frac{\delta}{\delta_1}} + \ln \frac{\delta}{\delta_1}. \quad (195.)$

E képlet szerint, ha

$$\frac{\delta}{\delta_1} = 1,1 \quad 1,2 \quad 1,3 \quad 2$$

és ha $\operatorname{ctg}^2 \beta$ -t 0,77-ra vesszük:

$$\frac{D}{\delta_h} = 34 \quad 18 \quad 12 \quad 5.$$

Mint ahogy az üregeken való áthúzáskor a cső falvastagságának csökkenése $\frac{\delta}{\delta_1} = 1,3 \sim 1,4$ viszonyoknak megfelelően történik, ezért az üreg alkotó körének átmérőjét $10 \delta_1$ -re vehetjük, vagyis

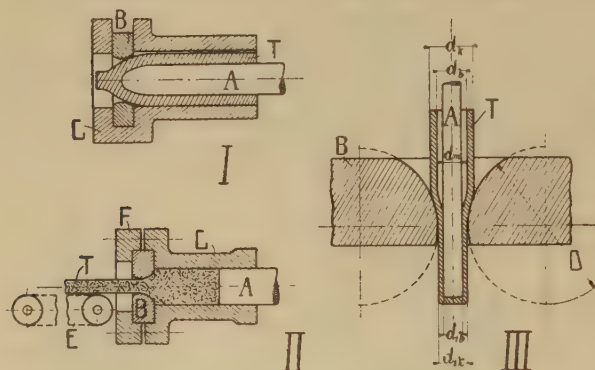
$$D = 10 \delta_1.$$

A cső falvastagságának csökkenése következtében csökken a cső külső átmérője (d) is. Az átmérő méretváltozásának viszonya $\left(\frac{d}{d_1}\right)$ azonban lényegesen kisebb, mint a falvastagságé. Ha ugyanis a belső átmérő (d_b) változatlan, akkor $d = d_b + 2\delta$, és $d_1 = d_b + 2\delta_1$; ebből következik, hogy

$$\frac{d}{d_1} - 1 = 2 \left(\frac{\delta}{\delta_1} - 1 \right) \frac{\delta_1}{d_1}, \quad (196.)$$

vagyis, hogy $\frac{d}{d_1}$ tényleg lényegesen kisebb a $\frac{\delta}{\delta_1}$ értékénél.

Az üregeken való áthúzáskor a kiszorult anyag főleg abban az irányban halad, amelyben haladását a szerszám és tárgy közötti surlódás nem gátolja, ez pedig a 114. III. ábra jelzése szerint az az irány, amely r -től



115. ábra.

Srapnel és edény húzása, valamint alakos tömör rudak sajtolása.

a -felé mutat. Az anyag tehát az üreg elé torlódik. Ha a mag átmérője megegyezik az edény belső átmérőjével, azaz ha $d_m = d_b$, akkor az anyag torlódását a maggal való surlódás gátolja, épen ezért indokolt, hogy a surlódás elhárítása céljából a magot kisebbre vegyünk, vagyis, hogy $d_m < d_b$ legyen. Mint gyakorlati adatot közöljük, hogy $d_b - d_m > 0,1 \text{ mm}$, de ugyanakkor $d_b - d_m < 0,5 \delta$.

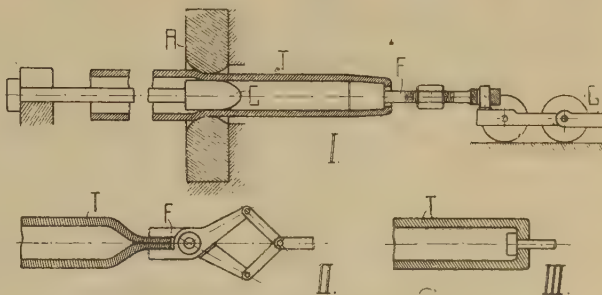
211. Edények, hüvelyek, srappnelek gyártásakor a tárgyat a gyűrűs üregeken át szokás sajtolni, ezért a magot tömör rúdként készítik el, hogy ezzel az edény fenekére akkora nyomást lehessen kifejteni, amekkora az alakváltozás belső munkáját és a surlódást legyőzni képes. Ha a nyomómag másodpercenkénti útja v_1 , akkor a szükséges munka:

$$\frac{Q v}{75} = N_B + N_s = N_k - N_{ii}.$$

Az N_B és N_s értékeket a tömör rudaknál tárgyalt módon számítjuk ki.

Srapnelgyártáshoz, vagyis nagyobb erők kifejtéséhez hidraulikus sajtókat használnak (l. a 115. I. ábrát), különben pedig, nevezetesen edények s hüvelyek gyártásához, közvetlen hajtású csavarsajtókat (l. a 115. III. ábrát). Alakos tömör rudak, izzó állapotú anyagból, a 115. II. ábra szerint, az anyagnak az ürege át való kisajtolásával is készíthetők.

212. Csöveket a gyűrűs ürege át húzni kell, nem pedig áttolni, e célra a 113. ábrán jelölt húzópadot használják. A mag az üreg ae méretének megfelelő hosszúságban hengeres; átmérője egyenlő az áthúzott cső belső átmérőjével; az üreg előtti része rúd alakú, az üreg mögötti része pedig kúpos, amint ezt a 116. I. ábra mutatja. A csövet kenés céljából folyékony kenőszerbe mártják, ezután az üregbe helyezik s beleteszik a magot. Az utóbbit az állványhoz erősítik; a cső végét fogóval megfogják, a fogót pedig a húzópad láncához kapcsolják. Hogy a cső végét a fogóval megfoghassák, abba kisebb átmérőjű toldatot erősítenek (l. a 116. I. ábrát), vagy összehajtják (l. a 116. II. ábrát), ha pedig a csőnek feneke is van, átfurják és a furatba dúcot tesznek (l. a 116. III. ábrát).



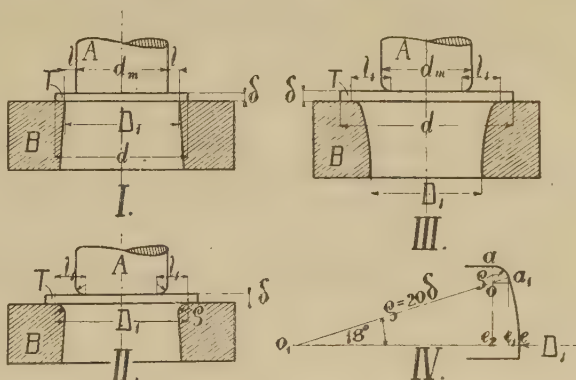
116. ábra.
Csőhúzás.

b) A hajlítás.

213. Lemezek és rúdárúk alakításánál a rövid és a hosszú karon való hajlítást igen kiterjedt mértékben használják. A rövidkarú hajlítás a 97—98. pontokban kifejtettek szerint a kettős nyírásnál akkor érvényesül, ha a nyíró szerszám élei között lévő rés mérete:

$$l = \delta \cdot 1,12 \operatorname{ctg} \beta \sim \delta \operatorname{tg} \beta. \quad (197.)$$

Ha pedig a kettős nyírást végző szerszám helyett a lyukasztó szerszámot használjuk és élei között ugyanakkora rést hagyunk, mint az előbbi alkalommal tettük, a műveletet *lemez-mélyítésnek* nevezzük.



117. ábra.
Lemezmélyítés.

Lemezmélyítéssel készítjük azokat a csészeszerű testeket, amelyekből gyűrűs üregeken való nyújtással hüvelyeket, edényeket s csöveket gyártunk. Minthogy a lemezmélyítést a lyukasztásból vezettük le, következik, hogy a lemezmélyítéshez olyan lyukasztó szerszámokat használhatunk, amelyeknek élei között akkora rés van, amekkorát a 197. képlet meghatároz. Ilyen szerszámot mutat a 117. l. ábra. A 197. képlet segítségével meghatározhatjuk azt a legnagyobb lemezvastagságot, amelyet az l résszel bíró szerszámmal mélyíteni lehet:

$$\delta_{max} = l \left(\frac{tg \beta}{1,12} \sim ctg \beta \right). \quad (198.)$$

A 117. l. ábra alapján meghatározhatjuk a mélyítendő tárcsa legnagyobb átmérőjét (d_{max}) is. Ez ugyanis a támasztó kör átmérőjénél csak $2 \delta ctg \beta$ darabbal lehet nagyobb, mert a támasztó pontokból kiinduló reakció csak $\delta ctg \beta$ széles gyűrűt képes alakítani. Ennélfogva:

$$d_{max} = D_1 + 2 \delta ctg \beta = D_1 + 2 l (0,89 \sim ctg^2 \beta). \quad (199.)$$

E méretnél nagyobb átmérőjű tárcsák szélei nem hajlanak fel, ezek tehát a reakciós szerszámra reáfekszenek s ezzel a tárgy haladását gátolják, miért is a fenék lenyíródik.

Minthogy a lemezmélyítésnél az alakváltozások a fősíkban ugyanolyanok, mint a rövid karon való hajlításnál, s mert e két igénybevétel között a különbséget egyedül a támasztó alakjának eltérése okozza épúgy, mint a nyírásnál és lyukasztásnál, ezért a mélyítő erőt a hajlító erőnek $99/a$. képletével kifejezhetjük, ha ebben b helyébe $D_1 \pi$ értéket tesszük, ennélfogva:

$$Q_{max} = \frac{D_1 \pi}{2l} \cdot 0,9 p_e \delta^2. \quad (200.)$$

Hogy következtetéseink helyessége felől meggyőződjunk, a most ismertetett szerszámokkal kísérleteket végeztünk. Az eredményeket a XXVII. táblázatba foglaltuk. Minthogy abban az esetben, ha $\delta > \delta_{max}$, vagy $d > d_{max}$, a tárgy elnyíródik, s mert az elnyírás, azaz a lyukasztás $D_1 \pi \delta$, vagy $d_{max} \pi \delta$ síkban történhetik, ezért e táblázatba e lyukasztó erőket (R) is felvettük.

E táblázat adataiból kitűnik, hogy ha a tárcsa átmérője és annak vastagsága megfelel a 198. és 199. képlet követelményeinek, a külső erő nagysága is teljesen megegyezik a 200. képlettel megadott értékekkel s hogy akkor, ha a vastagság, vagy az átmérő nagyobb a megengedett értékeknél, az erő a lyukasztó erő értékét éri el.

Eddigi kísérleteinkhez, amint már mondtuk, a mélyítő szerszámok éleit élesre vettük, a gyakorlatban azonban az éleket le szokás tompítani. A mélyített lemezek ugyanis az akciót kifejtő köldök éle körül meghajlanak, de mert a legkisebb görbületi sugár, amelyre még a lemez meghajlítható, a 107. pont 103. képlete szerint:

$$\rho = 0,7 \delta,$$

ezért az élek legalább is ily sugárnak megfelelően tompítandók, amint ezt a 117. II. ábra mutatja. Az él tompítása következtében megváltozik a rés; ez ugyanis l -ről l_1 -re nő, de ezzel nő a hajlítható lemez vastagsága, valamint a tárcsa átmérője is, a szükséges hajlító erő pedig kisebbedik.

XXVII. táblázat.

Az anyag jellemzői: 486. sz. folyasztott vas, $p_e = 48 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_e = 0,20$, $k = 1 \sim 1,3$, $\lg^2 \beta = 1,24$						
A kísérletek éles sarokkal bíró szerszámokkal történtek. Méretek: $D_1 = 20 \text{ mm}$, $d_m = 15 \text{ mm}$, $l = 2,5 \text{ mm}$.						
Számított értékek			Kísérleti értékek			
$\delta_{\max}$ mm	$d_{\max}$ mm	$Q_{\max}$ kg	δ mm	d mm	Q kg	Megjegyzés
2,22 ~ 2,5	22,5	880	1,27	22	810	Szabályosan deformálódott
	27,8	1340	1,56	22	1350	Szabályosan deformálódott
	24	990	1,34	24	1100	Szabályosan deformálódott
	23,2	$R = \frac{3400}{4000}$	2,96	22	3660	Elnyíródott, mert $\delta > \delta_{\max}$
	22,8	$R = \frac{1830}{2400}$	1,59	24	1830	Elszakadt, mert $d > d_{\max}$
	25,3	$R = \frac{3300}{4600}$	3	26	4000	Elnyíródott, mert $\delta > \delta_{\max}$ és $d > d_{\max}$

Ha a szerszámok éleit $\rho = \delta$ sugárral tompítjuk, akkor az l_1 , δ , d és Q értékek is megváltoznak. A tompított él megváltozott l_1 távolsága a tompítási körök középpontjainak összekötő vonalának minimális hossza esetén:

$$l_1 = l\sqrt{2} + 2\rho(\sqrt{2} - 1) = l\sqrt{2} + 0,88\rho, \quad (197/a.)$$

miért is $\delta_{\max} = (l\sqrt{2} + 0,88\rho)(1 \sim \text{ctg } \beta), \quad (198/a.)$

$$d_{\max} = D_1 + 2\rho + 2\delta \text{ctg } \beta, \quad (199/a.)$$

és $Q_{\max} = \frac{(D_1 + 2\rho)\pi}{2(l + 0,88\rho)} \cdot 0,9 p_e \delta^2. \quad (200/a.)$

Ez utóbbi képletünk az erőt a $d_{\max}$ átmérőjű tárcsára vonatkoztatva adja meg. Ha a tárcsa d_1 tényleges átmérője nem egyezik meg ezzel, akkor az erő is megváltozik. Kísérleteink szerint:

$$Q_1 : Q_{\max} = (d_1 - D_1)^{\frac{1}{4}} : (d_{\max} - D_1)^{\frac{1}{4}},$$

tehát $Q_1 = Q_{\max} \sqrt[4]{\frac{d_1 - D_1}{d_{\max} - D_1}}. \quad (201.)$

Képleteink használhatóságának ellenőrzésére oly szerszámmal kísérleteztünk, amelynél $\rho = 2,5$ mm volt. Kísérleteink eredményeit a XXVIII. táblázatba foglaltuk.

XXVIII. táblázat.

Az anyag jellemzői: 486. sz. foltasztott vas: $p_e = 48 \text{ kg mm}^2$, $\lambda_e = 0,20$, $k = 1 \sim 1,3$, $t g^2 \beta = 1,24$						
Az üreg jellemző méretei: $D_1 = 20 \text{ mm}$, $d_m = 15 \text{ mm}$, $\rho = 2,5 \text{ mm}$, $l_1 = 4,7 \text{ mm}$						
Ez üreggel mélyíthető lemez legnagyobb vastagsága: $\delta_{max} = 4,1 \sim 4,7 \text{ mm}$						
Kísérleti értékek			Számított értékek			M e g j e g y z é s e k
δ mm	d mm	Q kg	d_{max} mm	Q_{max}	Q_1	
1,98	24	1150	28,4	1880	960	Szabályosan deformálódott
1,97	26	1840	28,4	1880	1860	« «
1,97	29	2400	28,4	1880	2490	Elrepedt, mert $d > d_{max}$
2,82	24	2690	30	4000	3100	Szabályosan deformálódott
2,80	26	3420	30	4000	3500	«
2,78	29	4070	30	4000	3960	«
2,02	25	1615	28,6	1900	1640	Szabályosan deformálódott
3,05	25	3900	30,5	4400	3600	« «
4,08	25	5550	32,4	8000	6300	« «
5,08	25	8600	34	12000	9200	Elrepedt, mert $\delta > \delta_{max}$

E táblázatból kitűnik, hogy úgy az erőre, mint a mélyítés határértékeire levont következtetéseink kísérleti igazolást nyertek.

Lehet a lemez mélyítő szerszámot gyűrűs üreggel kombinálva is megszerkeszteni, de mert a gyűrűs üreg legkülsőbb érintő pontjához húzott sugárnak a legbelsőbb érintésponthoz húzott sugárral 18° -nál nagyobb szöget nem szabad bezárnia s mert az üreg görbületi sugara az előbbieket szerint: $\rho = 20\delta$, ennél fogva az ilyen kombinált szerszámot a 117. III. ábra szerint így szerkesztjük meg:

Felvesszük a D_1 furatátmérőt, ennek irányában megjelöljük a 20δ -nak megfelelő profilsugár o_1 középpontját és e középpontból kiindulva meghúzzuk az o_1e -vel 18° -ot bezáró szögszárát. Meghúzzuk továbbá az o_1e körívet (azt lefelé szabadon folytathatjuk), ennek a_1 végpontjából pedig $a_1o = \rho = \delta$ sugárral az a_1a körívet. Az ilyen szerkezetnél, amint az ábrá-

ból is kitűnik, az a támasztó pont a furat középpontjától $e e_2$ darabbal fekszik távolabb, mint akkor, ha egyáltalán nem végzünk tompítást és mert

$$e e_2 = e e_1 + e_1 e_2 = 20 \delta (1 - \cos 18^\circ) + \delta \cdot \cos 18^\circ,$$

$$\text{ennélfogva } l_1 (=) l + \delta \cdot 1,44 + \delta = l + 2,44 \cdot \delta, \quad (197/b.)$$

$$\delta_{\max} = l_1 (1 \sim \operatorname{ctg} \beta), \quad (198/b.)$$

$$d_{\max} = D_1 + 2,88 \delta + 2 \delta \operatorname{ctg} \beta = D_1 + 2 \delta (1,44 + \operatorname{ctg} \beta) \quad (199/b.)$$

$$\text{és } Q_{\max} = \frac{(D_1 + 2,88 \delta) \pi}{2(l + 2,44 \delta)} \cdot 0,9 \cdot p_e \delta^3; \quad (200/b.)$$

Ha pedig a lemez átmérője

$$d_1 \geq d_{\max}, \quad \text{akkor}$$

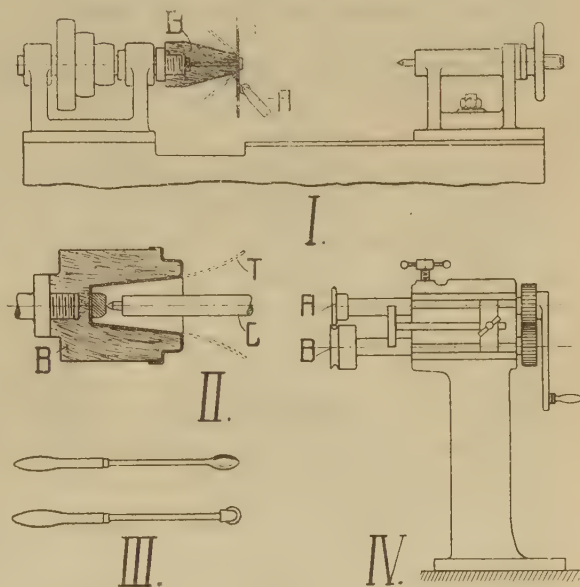
$$Q_1 = Q_{\max} \sqrt[4]{\frac{d_1 - D_1}{d_{\max} - D_1}}.$$

Megjegyezzük még, hogy a vékony, azaz 6 mm-nél nem vastagabb lemezeket hidegen szokás mélyíteni, a vastagabbakat pedig, aminek például a kazánlemez, izzó állapotban, hogy így a szükséges erőt csökkentsék.

214. Lemezek mélyítésénél a hajlító erő a reakciót kifejtő támasztóra hat. Ámde forgó testen ugyanazt a hatást érhetjük el, ha a hajlító erő a tárgynak pillanatnyilag csak egy pontján működik. Az alakítás-

nak ez utóbbi módját nyomó-esztergán való alakításnak, magát a gépet pedig nyomó esztergának nevezzük. Ez úton, amint a 118. I. ábrán látható, módunkban áll minden formájú forgási testet és pedig paraboloidot, kúpot, valamint többször visszahajlító dísz tárgyakat készíteni.

A nyomó-eszterga lényege a következő: A szíjdobokkal forgatott tengely végén van a 118. I. ábra B -vel jelölt alakmás, amelyre a T tárgyat vagy csavarral (l. a 118. I. ábrát), vagy nyeregszeggel (l. a 118. II. ábrát) erősítik. Nyomó szerszámnak vékony lemezárúkhöz síma és tompa végű acélrudat, vastag tárgyakhoz azonban görgőt használunk. (L. a 118. III. ábrát.) Minthogy az alakítást hidegen végezzük, az alakítandó lemezek mindenkor kilágyítandók s mert a szerszám és a tárgy között nagy a surlódás, a szerszám könnyebb továbbíthatása céljából a surlódást kenéssel csökkentjük.



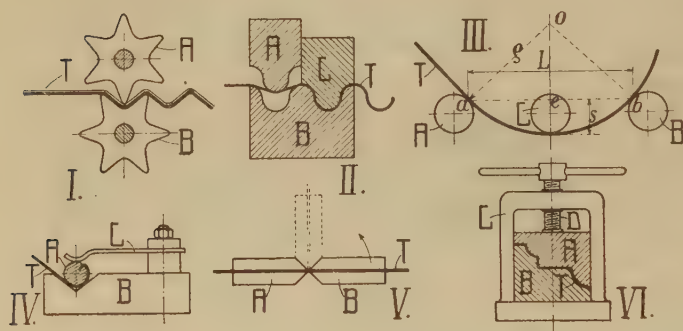
118. ábra.

A nyomó-eszterga és a permetező-gép.

215. A hengeres edények széleit, hogy élüket elvegyük, teljesen vissza szokás hajlítani. Ezt a műveletet peremezésnek mondjuk és a 118. IV. ábrán látható peremező géppel végezhetjük el. E gép lényeges alkotó része két alakos henger (*A* és *B*), amelyek a lemezedény szélét először hullámosítják, majd teljesen visszahajtják. A visszahajlított széleket azután egy más alakú hengerpárral összelapítjuk.

Hajlítással hullámos lemezeket is készíthetünk a 119. I. ábra szerint. Az ily úton készített hullámok azonban nem egyformák. Pontos méretű hullámok sajtolás útján készülnek. E célra a 119. II. ábra szerinti szerzőt használjuk, amely több hullámból álló *B* alakmásból és egy hullámból álló *A* alakveréből áll. A már elkészült hullámokat, hogy el ne torzuljanak, a *C* szorítóval tartjuk az alakmáson.

216. Sínek és kazánlemezek adott görbületi sugárban való meghajlításához a 119. III. ábrán látható hengerjáratot használhatjuk.



119. ábra.

Lemez hajlító- és hullámosító-gép.

Alakos tárgyak hajlítása esetén a hengerek is ugyanolyan profillal látandók el, mint a tárgy, mert máskülönben az utóbbi tárgy csak egy néhány pontban feküdne meg s ezeken a helyeken az

a nagy reakció következtében eltorzúlna. Lemezek és sínek hajlításához három hengert használunk (l. a 119. III. ábrát). Ilyenkor a tárgy görbületi sugara az *oae* háromszöggel jelzett geometriai összefüggésből határozható meg:

$$oa^2 = ae^2 + eo^2,$$

s mert

$$oa = \rho, \quad ae = \frac{L}{2} \quad \text{és} \quad eo = \rho - s,$$

azért

$$\rho^2 = \frac{L^2}{4} + (\rho - s)^2,$$

ebből

$$\rho = 0,125 \frac{L^2}{s} + 0,5 s.$$

Ez elrendezésnél a hajlított tárgy két vége egyenes marad, miért is e részeket utólag kézi szerszámokkal kell meghajlítani. Lemezhajlításnál a középső hengerre gyakorlandó nyomás a 99/a. képlet szerint a következő:

$$Q = \frac{b \delta^2}{L} 0,9 p_1,$$

ahol p_1 a külső szál feszültségét jelenti, ez pedig a görbületi sugárból a 80 c. képlettel

$$\rho = \delta \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} \cdot \frac{1 + \lambda_1}{\lambda_1}$$

meghatározható λ_1 méretnövelés függvénye, t. i.

$$p_1 = p_a + \frac{p_e - p_a \sqrt{\lambda_1}}{\sqrt{\lambda_e}}$$

Lemezek hajlítását hidegen kell végezni, ámde a hajlítás, lyukasztás és kifűrés után, főleg ha képlékenyséjük csekély, a lemezeket ki kell lágyítani. Régebben ezeket melegen hajlították, de ilyenkor megeshetik, hogy a lemez hőfoka közel 300°-ra csökken, s mert e hőfoknál az anyagnak semmi képlékenysége nincsen, rajta hajszaárepedések támadhatnak. E veszedelemes jelenség kiküszöbölése céljából a melegen való hajlítást most már teljesen mellőzik.

Vékony lemezekhez, ha azok kis görbületi sugárra hajlítandók, a 119. IV. ábrán jelzett elrendezés használható. Ennél az A jelű henger a B alaplap vályúszerű mélyedésében fekszik és forgattyúval mozgatják. E henger érdes felülete következtében behúzza a vályúhoz illesztett lemezt és saját sugarával egyező görbületi sugárban hajlítja meg. Szélesebb lemezekhez használt szerkezetekben az A hengert a kihajlás ellen a C támasztóval védik meg.

217. Lemezeknek éles sarokban való meghajlítását a 119. V. ábra szerint két lapos fogóval végzik. Formás párkányléceket lemezekből a húzópadon úgy készítenek, hogy formás lapokból üreget alkotnak (l. a 119. VI. ábrát) s az üreget a lapok fokozatos közelítésével kisebbítik. Az ily módon készült párkánylécek utólagos sajtolással domború díszítésekkel láthatók el.

c) A csavarás.

218. A csavarásnál érvényesülő azt a jelenséget, hogy a szívós alakváltozás folyama alatt a csavarmenetek a csavarásnak kitett rúd egész hosszúságán egyenletesen oszlanak el, az épületlakatos díszítő motívumok készítésére használja fel, a szerszámlakatos pedig spirális fűrók készítésére.

B) Egyéb fémek.

a) Vörösréz.

219. Vörösrézlemez s rúdárúk készítéséhez leginkább elektrolitikai rezet használnak: ezt megömlesztik, petróleumkorommal bevont vasformába öntik, azután hengerlik. Az első hengerlést mindig melegen kezdik, de mert izzítás közben a réz erősen oxidálódik s ezzel sokat veszít súlyából, ezért a további hengerlés hidegen történik. Melegen való

hengerléskor az oxid-réteget nedves seprővel leseprik, nehogy az a felületbe benyomódjék. Hideg hengerlés előtt a felületet minden oxidtól és minden rántól gondosan mentesítik, azután egyfolytában addig hengerelik, míg teljes megnyúlása a λ_{max} értékét eléri. Ezt követőleg kilágyítják s a felületen látható hibás részeket ismét lekaparják. A hengerelést különben ugyanazokkal a hengerjáratokkal végzik, amelyeket a vas hengerlésénél ismertettünk.

Rézlemezek kereskedelmi elnevezései a következők: A 0,6 mm-nél vékonyabb lemez neve: tekercslemez, mert tekercs alakjában jut a kereskedelembe; a 0,6—1,5 mm vastagságút, ha hosszúsága kisebb a szélessége háromszorosánál, fedőlemeznek, különben pedig hajólemeznek nevezik; az 5—10 mm vastagságú lemez neve: kazánlemez, a 10—15 mm-esé pedig tűszekrénylemez.

A réz-rúdárúk elnevezése megegyezik a vas-rúdárúkéval.

A drótokat 5 mm-ig hengerelik, az 5—2 mm-es drótokat pedig gyűrűs üregen nyújtják. A 2 mm-nél vékonyabb drótokat lemezekből gyártják. E célból 1—2 mm vastag lemezekből tárcsákat készítenek, ezeket ollóval spirális szalaggá nyírják, a szalagokat pedig egynéhány gyűrűs üregen nyújtják, miközben azok körkeresztmetszetűekké válnak. Alakos rudak üregen való átsajtoltással készülnek, még pedig izzó fémből. E célból a 115. III. ábrán látható sajtót használják.

b) Sárgaréz.

220. Vékony lemezeket és rúdárúkat 15—25% Zn-tartalmú sárgaréz-ötvözetből, vastagabbakat pedig kovácsolható sárgarézből, vagyis 35—46% Zn-tartalmú ötvözetből gyártanak. Ez ötvözetekből lemezeket, rudakat vagy csöveket öntenek s azokat nyújtják. Vékony tárgyakat az ötvözet sajátossága miatt csak hidegen szabad alakítani, ezért az alakított tárgyakat időszakonként 400—500° C között kilágyítják, ezután az oxid-réteget 10%-os kénsavoldattal távolítják el.

Vastag árúkat izzó állapotban, azaz 600—800° C között kell alakítani. Kis mértékben hidegen is alakíthatók, ekkor azonban az árú 400—500° C-on kilágyítandó. Sárgarézből készült lemezek vastagsága: $\hat{z} = 0,11 \sim 17$ mm. Hengerelésüket duójáraton végzik. A vékony rúdárúkat, nevezetesen drótokat, 5 mm átmérőig hidegen hengerelik, azután pedig a nyújtást ugyancsak hidegen gyűrűs üregen folytatják. Gép-alkotó részeket kovácsolható sárgarézből alakos sajtoltással szokás gyártani.

c) Cink.

221. Minthogy a szennyező anyagoktól mentes cinknek alakíthatósága 100—150° C-on a legnagyobb, ezért hengerelését csakis e hőfokon végzik. E célból a cinkből lapokat vagy rudakat öntenek. Hogy a cinket

szennyező anyagától megtisztítsák, megömllesztését oly lángkemencében végzik, amelynek feneke egyik irányban lejtős.

A nagyobb fajsúlyú szennyeződések a kemence mélyebb fekvésű részein gyűlnek össze s onnét lecsapolhatók. Ha megdermedt a cink és 150° C-ra lehűlt, hozzáfognak a hengereléshez s ezt addig folytatják, míg az anyag 100° C-ra lehűl; ekkor ismét felmelegítik 150° C-ra s folytatják a hengerlést.

A cinklemezek szokásos vastagsága: $\delta = 0,01 \sim 5$ mm, szélességük: $b = 0,5 \sim 1$ m, hosszuk pedig: $h = 1,2 \sim 2,4$ m.

A rudakat és drótokat 5 mm-ig csúcsíves hengereken ugyancsak $100\text{--}150$ fokon hengerlik. A hengerelt cink szívós, ezért csak kis mértékben alakítható.

d) Ólom.

222. Lemezeket és rudakat e fémből részben hengerléssel, részben sajtolással szokás gyártani. Hengerlés céljából az ólomot fémformába öntik s $150\text{--}200^{\circ}$ C-on hengerlik. Minthogy az ólom keménysége csekély, belőle alakos rudakat formás üregeken való átsajtolással gyártanak. Csövek folyékony ólomnak formás üregeken való átsajtolásával készülnek (I. I. K. 304. p. 241. á.). Az utóbbiak gyártásánál különös gondot kell arra fordítani, hogy a folyékony ólom az üregből megdermedve kerüljön ki, különben a cső fala egyenlőtlen lesz, továbbá arra is vigyázni kell, hogy az ólom benn a hengerben még ne dermedjen meg, mert ekkor ellenállása nagy és a falak a magtámasztóval bíró szerkezetekben nem forrnak össze.

e) Ón.

223. Ónból vékony lemezeket gyártanak. Hengerelését hidegen végézik. Mihelyt a tárgy olyan vékony, hogy egyenletesen elosztott erővel tovább már nem deformálható, a lemezeket fokozatosan rétegezik. Ezt az eljárást követik mindaddig, míg a rétegek száma a 20-at eléri. Ezután a rétegezett csomagokat pőrölyökkel nyújtják, de közben a rétegezést mindaddig folytatják, amíg a rétegek száma a 300-at el nem éri. Az ónból ilyen módon készült legvékonyabb lemezek vastagsága: $\delta = 1/1500$ mm s nevük: *staniol*.

f) Arany, ezüst.

224. Minthogy a színarany és színezüst hidegen igen nagy mértékben nyújtható, ezért a fémformákba öntött lemezeket folyton kisebbedő átmérőjű hengerek között hengerelik. A henger átmérőjének csökkenése azért szükséges, mert e fémek lemezeit csomagolni nem szabad, mint-hogy hidegen könnyen összehegednek. A hengerelt lemezeket pergament- vagy marhabél-hártyákkal rétegezik és hidegen pőrölyökkel verve nyújtják. Ilyen módon az aranyból $1/9000$ mm, ezüsből $1/4500$ mm vastagságú lemezek is készíthetők. Ezek neve *arany-* vagy *ezüsfüst*.

Az aranyötvözeteket, mert hidegen csekély mértékben alakíthatók, izzó állapotban kell hengerelni és kovácsolni. Az ezüstötvözetek azonban, mert eléggé szívósak, közbevetett kilágyítással hidegen is alakíthatók.

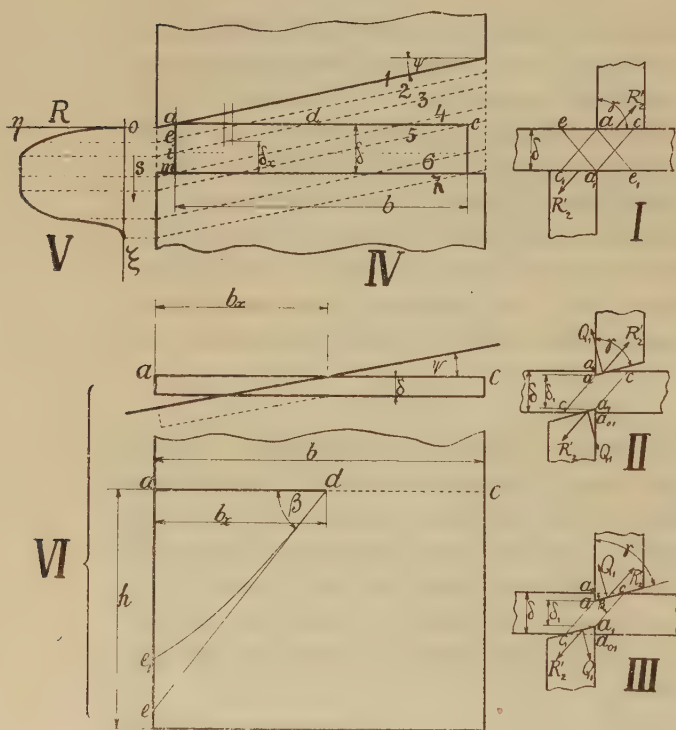
II. ALAKÍTÁS A TEST TÖMEGÉNEK TÖBB RÉSZRE OSZTÁSÁVAL.

A) Szabályos alakítás.

a) Darabolás.

225. A test tömegének több részre osztásánál a 155. pont szerint az elválasztás síkjának helyzete döntő szereppel bír. Ha ugyanis e sík a

test keresztmetszetén végighalad, akkor az eljárást darabolásnak, különben pedig forgácsolásnak nevezzük. Hogy miféle eljárásokkal darabolhatunk szabályosan, azt már, az általános részben kifejtettek alapján, tudjuk; de mert tömeggyártásnál csak az olcsóbb eljárásokat használják, azért a bemetszett rudak húzását, csavarását és hajlítását nem veszik igénybe, hanem csak a nyírást, a vágást, a metszést és a fűrészelést.



120. ábra.

A ferdeélű olló hatása.

α) Nyírás.

226. A tiszta nyírás mibenlétét és feltételeit a 88–94. pontokban már tárgyaltuk. Tömeges nyírásakor azonban e feltételeknek nem tehetünk eleget, mert ezek betartása költségessé tenné

az eljárást. A tiszta nyíráshoz ugyanis 90° metszőszögű, párhuzamos élű ollót használtunk, az ily ollónál pedig a reakció következtében, amint az a 120. I. ábrából kitűnik, oly R'_2 erőhatás érvényesül, amely a szerszámokat a nyírás síkjától eltéríti. E jelenségnek azzal vettük elejét, hogy a szerszámot igen erős és nagyon pontos vezetékkel láttuk el. A pontos vezeték költségeit mellőzhetjük, ha a metszőszöget kisebbre vesszük, vagyis ha $\gamma < 90^\circ$

mert hegyes metszőszögű ollónál az érintkező felületre normálisan ható Q_1 reakció (lásd a 120. II. ábrát) is hat, amely a szerszámot az R'_2 -tel ellenkező irányban forgatja. Abban az esetben, ha $R'_2 = Q_1$, a szerszám az egyenes iránytól nem tér el, sőt, ha $R'_2 < Q_1$, akkor az még pontatlan vezeték esetén is a nyírás síkjában marad.

A hegyes metszőszögű szerszám a tárgyba látszólag bemetsződik ugyan, de mert nyírásnál a metszőszög értéke $(90^\circ \rightarrow 5^\circ) \sim (90^\circ - 10^\circ)$ között szokott lenni, a szerszám behatolása nem metszésen, hanem szúrásan alapszik; ép ezért a nyíróellenállás mérlegelésekor a szerszám behatolásától el kell tekintenünk.

A tiszta nyíráshoz használt hegyes metszőszögű párhuzamos élű ollónak az a hátránya, hogy széles lemezek esetén a nyírógépet szintén széles méretben kell készíteni s oly erőre méretezni, hogy a teljes lemez nyírásához szükséges erőt kifejtthesse.

E hátrányt úgy enyésztetjük el, hogy az éleket nem párhuzamosan, hanem hegyes szöget bezárva, ferdén helyezzük el. Az ilyen ollóval, bár keskeny, széles tárgyat is nyírhatunk, ha ez utóbbit fokozatosan előre-toljuk. A ferde élű olló lényegesen kisebb erőt szükségel, mint a párhuzamos olló.

A ferde élű olló végtelen keskeny részét ugyanis párhuzamos ollónak tekinthetjük. A 120. IV. ábrán látott olló a pontja tehát párhuzamos olló módjára hat, nyíró hatása ellen a tárgy addig fejt ki növekedő ellenállást, míg δ vastagsága δ_e értékre csökkent, vagyis amíg az a él e pontba jut ($me = \delta_e$); ezután az anyag ellenállása mindaddig állandó marad, amíg képlékenysége berepedését meggátolja, vagyis amíg az a él i -be kerül ($mi = \delta_i$); végül amire az a él az i ponton túlhalad, az anyag ellenállása megszűnik.

Ámde amikor az a él i -be jutott, a tárggyal már az a él szomszédos pontjai is érintkeznek, még pedig $a i \operatorname{ctg} \psi$ széles darabon, miért is a külső erőnek e darab ellenállását le kell győznie.

Az elmondottakból következik, hogy az anyag legnagyobb ellenállását *oly széles* (b_1) lemez okozza, melynek szélessége $b_1 = a i \operatorname{ctg} \psi$ s mert $a i = \delta - \delta_b$,

$$\text{azért} \quad b_1 = (\delta - \delta_b) \operatorname{ctg} \psi. \quad (202.)$$

Mint hogy e darabnak az a része, amelynek szélessége:

$$b_e = a e \operatorname{ctg} \psi = (\delta - \delta_e) \operatorname{ctg} \psi = \delta \frac{\lambda_e}{1 + \lambda_e} \cdot \operatorname{ctg} \psi, \quad (202/a.)$$

szívós alakváltozást, az a része pedig, amelynek szélessége

$$b_k = e i \operatorname{ctg} \psi = (\delta_e - \delta_b) \operatorname{ctg} \psi = \frac{\delta}{1 + \lambda_e} \frac{k^2}{k^2 + 9} \cdot \operatorname{ctg} \psi, \quad (202/b.)$$

képlékeny alakváltozást szenved, azért e két rész erőszükségletét külön kell meghatároznunk.

A szívós alakváltozásnak alávetett részben az ellenállás az érintkezés első pontjában zérus, a végső pontban pedig q_e . De mert nyíráskor az alakváltozás mértéke az él egyenes vonal alakja miatt lineárisan változik, azért az erő eloszlása másodfokúnak veendő. Ez alapon a közepes ellenállás képlete:

$$q_k = (0 + q_e)^{2/3} = 0,66 q_e. \quad (203.)$$

Képlékeny alakváltozáskor az ellenállás: q_e .

A feszültségeket ismerve, az erőt a 73. a képlet alapján, ha szívós alakváltozásnál a közepes δ helyett δ_e -t vesszük, így fejezhetjük ki:

$$\left. \begin{aligned} R_e &= b_e \delta_e \cdot q_k \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2}, \\ R_k &= b_k \delta_e \cdot q_e \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (204.)$$

Az összes erő tehát:

$$R_{max} = R_e + R_k = (b_e q_k + b_k q_e) \delta_e \frac{\sin 2\alpha}{2}. \quad (204/a.)$$

Ha e képletbe a 202/a, 202/b s 203. képletek értékeit helyettesítjük s azt kellően rendezzük, alakja a következő lesz:

$$R_{max} = ctg \psi \delta_e^3 \left[\left(1 - \frac{\delta_b}{\delta_e} \right) + 0,66 \left(\frac{\delta}{\delta_e} - 1 \right) \right] q_e \frac{\sin 2\alpha}{2},$$

ha pedig δ_e és δ_b értékeket a 72. és 76/a képletek értékeivel helyettesítjük, akkor:

$$R_{max} = ctg \psi \frac{\delta^3}{(1 + \lambda_e)^2} \left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + 0,66 \lambda_e \right) q_e \frac{\sin 2\alpha}{2}. \quad (204. b.)$$

A ferdeélű olló azonban nemcsak nyír, de a lenyírt darabot el is hajlítja. Az ehhez szükséges erőt a 99. a képlet alapján úgy számíthatjuk ki, hogy meghatározzuk az egyes tényezők értelmét és értékét.

Minthogy ez esetben egy oldalról befalazott tartót hajlítunk, a hajlítóerő képlete:

$$Q' - \frac{Q}{2} = \frac{b_h \delta^3}{4l} 0,9 q_e ctg^2 \beta. \quad (205.)$$

A δ -nek és q_e -nek értelme s értéke változatlan, b_h értéke azonban más. A 120/VI. ábrából ugyanis kiténik, hogy a hajlításból eredő húzó-feszültség irányvonala a szomszédos részek gátlása folytán másodfokú görbe alakú, miért is hosszú darabok lenyírásánál csak $0,66 b tg \beta$ darab hajlik el, föltéve, hogy a lenyírt hosszúság (h) ennél nagyobb; különben csak a lenyírt h hosszúságú darab hajlik meg. Ámde az elhajlás mértéke is másodfokú, vagyis csak a d pontban teljes az elhajlítás, míg az e_1 -ben ez már zérus értékű, ezért a számításba veendő b_h a meghajlított hosszúságnak csak 0,66 részét teszi, tehát: $b_h = 0,43 b tg \beta$, és ha

$h < 0,66 b \operatorname{tg} \beta$, akkor $b_h = 0,66 h$, feltéve azonban, hogy $h > \delta \operatorname{ctg} \beta$, mert ellenkező esetben nem nyírás, hanem forgácsolás megy végbe. A hajlítóerő karja (l), ha a hajlítóerő csak a nyírás alatt álló darabon hatna, így volna kifejezhető:

$$l = \frac{\delta - \delta_b}{2} \operatorname{ctg} \psi;$$

de mert a szerszám a tárgyat $(\delta - \delta_b) \operatorname{ctg} \psi$ darabnál jóval hosszabban fekszi meg, az előbb felírt értéknél nagyobb. Megfigyeléseink szerint a szerszám 4-szer, sőt 5-ször hosszabb darabon érintkezik, ezért:

$$l = 5 \frac{\delta - \delta_b}{2} \operatorname{ctg} \psi = 2,5 \delta \frac{1}{1 + \lambda_e} \left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + \lambda_e \right) \operatorname{ctg} \psi.$$

A b_h és l kifejezett értékeit a 205. képletbe helyettesítve, annak alakja így módosul:

$$\left. \begin{aligned} Q' &= 0,0387 \frac{b}{\delta} \cdot \delta^2 q_e \frac{\operatorname{ctg} \beta (1 + \lambda_e)}{\left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + \lambda_e \right) \operatorname{ctg} \psi}, \\ \text{vagy} \quad Q' &= 0,0594 \frac{h}{\delta} \cdot \delta^2 q_e \frac{\operatorname{ctg}^2 \beta (1 + \lambda_e)}{\left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + \lambda_e \right) \operatorname{ctg} \psi} \end{aligned} \right\} 205/a.$$

Minthogy a szerszám a 204/ b és 205/ a képlettel kifejezett erőt egyidejűleg győzi le, ezért a szükséges erő (R_{ny}):

$$R_{ny} = R_{max} + Q',$$

vagyis hosszú darabok lenyírásakor:

$$\begin{aligned} R_{ny} &= \delta^2 q_e \frac{\sin 2\alpha}{2} \operatorname{ctg} \psi \left[\frac{1}{(1 + \lambda_e)^2} \left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + 0,66 \lambda_e \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\operatorname{ctg}^2 \psi} \cdot \frac{0,0794}{\sin 2\alpha} \cdot \frac{b}{\delta} \cdot \frac{\operatorname{ctg} \beta (1 + \lambda_e)}{\left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + \lambda_e \right)} \right] \end{aligned} \quad (206.)$$

és rövid darabok lenyírásakor:

$$\begin{aligned} R_{ny} &= \delta^2 q_e \frac{\sin 2\alpha}{2} \operatorname{ctg} \psi \left[\frac{1}{(1 + \lambda_e)} \left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + 0,66 \lambda_e \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\operatorname{ctg}^2 \psi} \cdot \frac{0,1188}{\sin 2\alpha} \cdot \frac{h}{\delta} \cdot \frac{\operatorname{ctg}^2 \beta (1 + \lambda_e)}{\left(\frac{k^2}{k^2 + 9} + \lambda_e \right)} \right]. \end{aligned} \quad (206/a.)$$

E képletből következik, hogy a külső erő szükséglete a ψ szög növekedésével csökken. E szöget azonban csak korlátozottan növelhetjük. Ha a tárgy az olló egyik élét megfekszi, akkor a ψ szög a surlódás szögénél nagyobb nem lehet: $\psi \leq 18^\circ$, de ha a tárgy a két él között van, vagyis a ψ szög felező vonala irányában van elhelyezve, akkor a ψ szög a surlódás szögének kétszeresét érheti el, tehát $\psi \leq 36^\circ$ is lehet. A gyakorlatban ψ szöget rendszerint $5-10^\circ$ -ra veszik. Olyan esetekben azonban, amikor a nagyobb szöget el nem kerülhetjük, a tárgy kicsúszását ütközőkkel akadályozzuk meg.

Az előbb levezetett 206. számú képletünk alkalmazhatóságára a CODRON*)-féle kísérleti adatokat hozzuk fel. Ő ugyanis 10 mm. vastag vaslemezről 30 mm. széles sávot különböző hajlású ferde ollóval nyírott le. Kísérleti értékeit és a 206. képlettel számítottakat a XXIX. táblázatba foglaltuk.

XXIX. táblázat.

A nyírott anyag valószínű jellemzői: $q_e = 65 \text{ kg/mm}^2$, $\beta_e = 51^\circ$, $\lambda_e = 0,20$, $k = 1,5$, $\sin 2\alpha = 0,978$, $\operatorname{ctg} \beta = 0,8$		
A szerszám adatai: $\gamma = 80^\circ$ A tárgy méretei: $b = 10 \text{ mm.}$, $h = 80 \text{ mm}$		
φ $\angle$	Legnagyobb erő: $R_{ny} \text{ kg}$	
	kísérleti	számított
5°	7800	8385
10°	4900	4537
15°	3450	3341
20°	2950	2838
25°	2650	2610
30°	2500	2483

Ez adatok összehasonlítása képletünk használhatóságát igazolja.

Ha az erő képletét ismerjük, meghatározhatjuk a ferde élű olló munkaszükségletét is. A 120. V. ábrából, amely az erő változását tünteti föl, kitűnik, hogy $0 \sim b_1 \operatorname{tg} \psi$ úton (a -tól i ig, vagyis 1-től a 3. helyzetig) az erő nő, innen kezdve $b \operatorname{tg} \psi$ -ig (vagyis a 3. helyzettől az 5. helyzetig) állandó marad, majd ismét $(\delta - \delta_b)$ hosszú úton csökken. Minthogy a diagramm kezdetén látható hiány majdnem egyenlő a diagramm végső részével, azért a diagramm területe $b \operatorname{tg} \psi$ alappal és R_{ny} magassággal bíró négyszöggel fejezhető ki:

$$2M_h = R_{ny} \cdot b \operatorname{tg} \psi. \quad (207.)$$

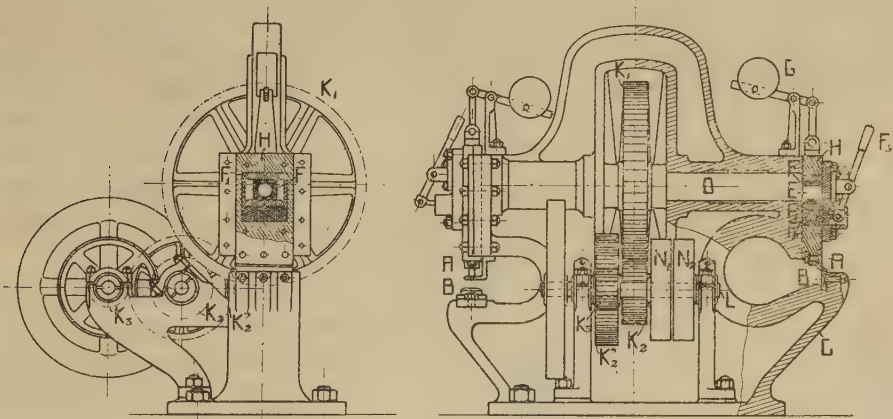
*) Expériences sur le Travail des Machines-Outils pour les Métaux, par C. CODRON, Paris, 1902.

Ha a b szélességű lemez nyírásához t másodperc kell, akkor a lóerőszükséglet:

$$N_h = \frac{1}{75} \frac{R_{ny}}{t} \cdot b \cdot \operatorname{tg} \psi. \quad (207/a.)$$

A t időt úgy választjuk meg, hogy az él lefelé haladása ($v_{m/mperc}$), kovácsvasnál 0,1 m., acélnál 0,05, réznél 0,2-nél nagyobb ne legyen. Lefelé haladtában az olló a hasznos munkán kívül az üres járás munkáját is legyőzi ($N_h + N_{ü}$), míg felfelé haladtában csak az üres járatot, ennél fogva az olló hajtásához szükséges átlagmunka:

$$N = \frac{N_{ü} + N_h + N_{ü}}{2} = N_{ü} + \frac{1}{2} N_h. \quad (207/b.)$$



121. ábra.

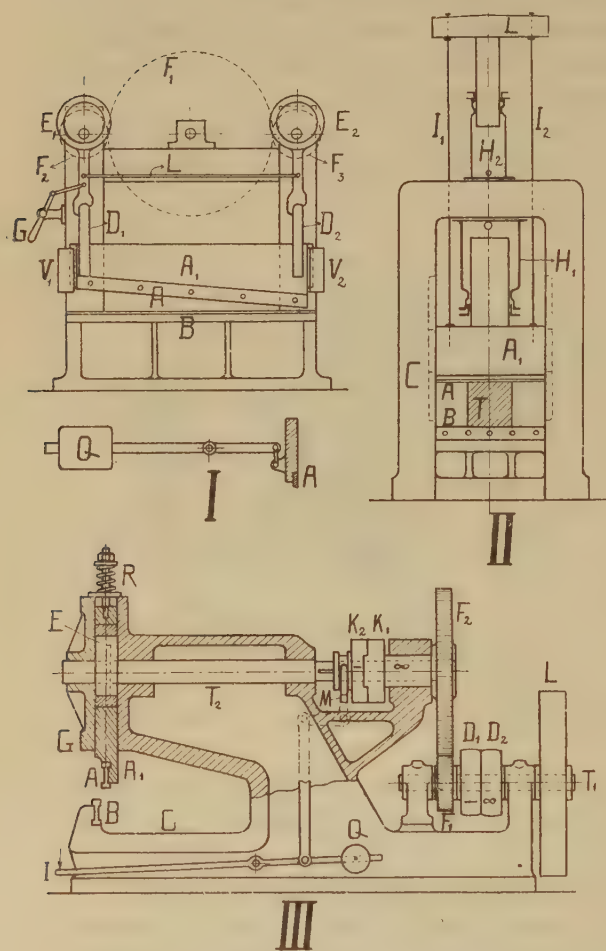
Excenterrel mozgatott s pótlékkal szabályozható ferdeélű olló és lyukasztó.

Mínthogy az olló munkaszüksége igen változó, az ollógépeket lendítőtömegekkel szerelik fel, vagy pedig lassító áttevések közbeiktatásával hajtják.

227. A ferde élű olló erő- és munkaszüksége, mint láttuk, az él ferdeségétől függ. Ha az erő viszonyát állandósítani akarjuk, az él ferdeségét, vagyis ψ értékét kell állandósítanunk, ezt pedig csak párhuzamos vezetékekkel lehet elérni. Az ilyen ollókat rendszerint excenterrel úgy mozgatják, mint az a 121., 122. és 123. ábrán látható.

A 121. ábrán látott szerkezetenél az O tengely végére helyezett E excentertárcsa négyszögű csuszkában (F_1) mozog, amely H jelű, egyenesben vezetett szerszámtartóval áll kapcsolatban. Mínthogy az E excenter körmozgást végez, H is ugyanazt végezné, ha F_1 szorosan illeszkednék hozzá, ámde mert a szerszámnak csak a körmozgás egyik komponensét kell követnie, t. i. a függélyest, azért a másikat, vagyis a

vízszintest, érvénytelenítenünk kell. Ezt a célt azzal érjük el, hogy H -ban vízszintes irányú kivágást készítünk, amelyben a csuszka szabadon mozoghat. Hogy a tárgyat pontosan az olló éle alá helyezhessük el, gondoskodnunk kell arról is, hogy a mozgó él kívánt ideig felső helyzetben vesztegelhessen. Ezt a feladatot a 121. ábra szerint úgy oldjuk



122. ábra.

A ferdeélű olló különböző mozgató szerkezete.

érhetjük el. Ezt az elrendezést ingotok nyírásához használják.

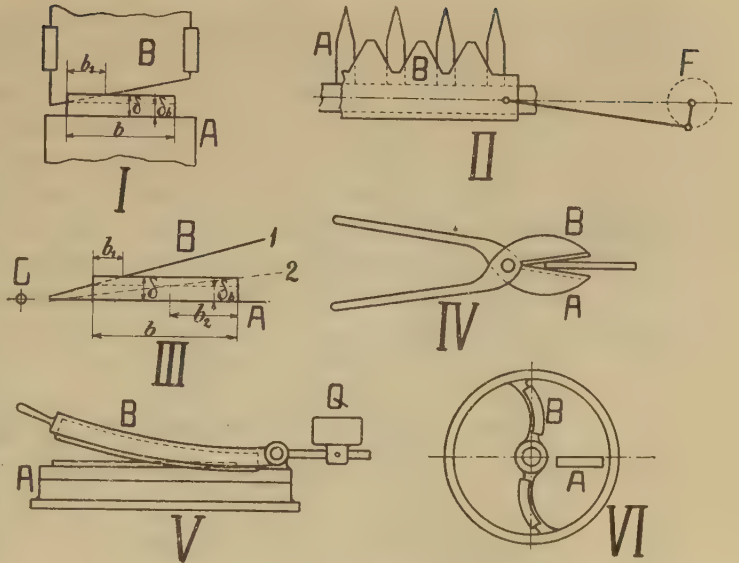
Elérhetjük a veszteglést az excentertengely forgásának megszüntetésével is, amint azt a 122. III. ábra mutatja. E szerkezetnél az excenter tengelye és a transzmisszió által hajtott tengely között fogazott vagy surlódó oldható tengelykötés van elhelyezve, amelyet a Q súly kikapcsol és amelyet a gépkezelő az I lábítóval bekapcsolhat.

meg, hogy H -ban függélyes irányú kivágást is készítünk, a szerszámtartót pedig G ellensúllyal felső állásába juttatjuk. A függélyes irányú kivágás következtében a szerszám lefelé mindaddig nem mozdul el, amíg az F_1 alá az F_2 -vel jelölt pótléket be nem csúsztatjuk s ezzel a függélyes irányú kivágást nem hatálytalanítjuk. Ezt az F_2 pótléket akkor húzzuk ki ismét, ha a szerszámot vesztegelteni akarjuk.

A szerszám mozgásának kikapcsolása a 122. I. ábrán látott szerkezetnél a következő: A főtengelyen lévő excenter nem csuszka, hanem tolórúdba van beágyazva, s mert ez utóbbi az ellensúllyal fölfelé irányított szerszámra támaszkodik, azt le is nyomja. Ha azonban a tolórudakat ferde helyzetbe hozzuk, a szerszám vesztegelni fog.

A veszteglést a 122. II. ábra szerint hidraulikus sajtokkal való kombinációval

228. Az eddig tárgyalta (l. 123. I. ábrát) párhuzamosan vezetett ferdeélű ollók hátrányos tulajdonsága, hogy az időnek csak fele részét hasznosítják. Ezt a hátrányt elháríthatjuk, ha olyan két élt egyesítünk, amelynek egyike ψ , másika $180^\circ - \psi$ szög alatt hajlik az álló élhez. Ily élpárból többet is egyesíthetünk, amint azt a 123. II. ábra mutatja. Ezt a szerkezetet

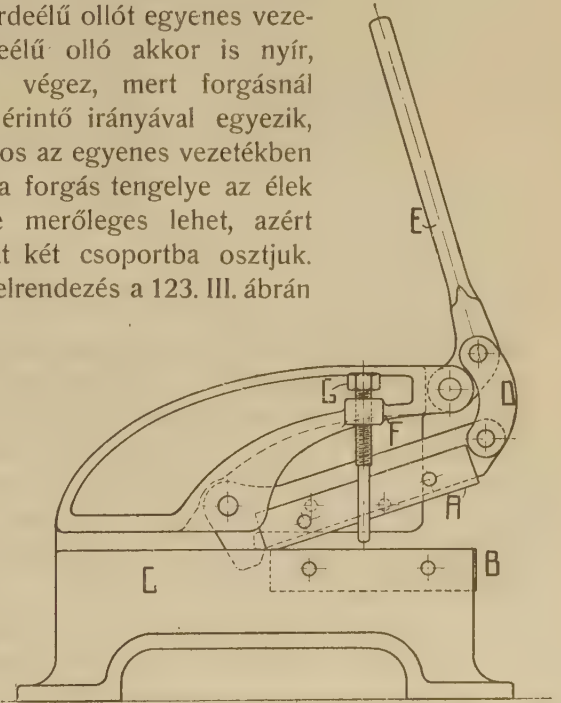


123. ábra.
A ferdeélű olló változatai.

aratógépeknél, valamint haj- és szörnnyíró ollóknál használják.

229. Az eddigiekben a ferdeélű ollót egyenes vezetékkel láttuk el; ámde a ferdeélű olló akkor is nyír, ha mozgó éle forgó mozgást végez, mert forgásnál a momentán haladás iránya az érintő irányával egyezik, tehát végtelen kis darabon azonos az egyenes vezetékben mozgó szerszámmal. Minthogy a forgás tengelye az élék síkjával párhuzamos, vagy erre merőleges lehet, azért a forgó mozgást végző ollókat két csoportba osztjuk.

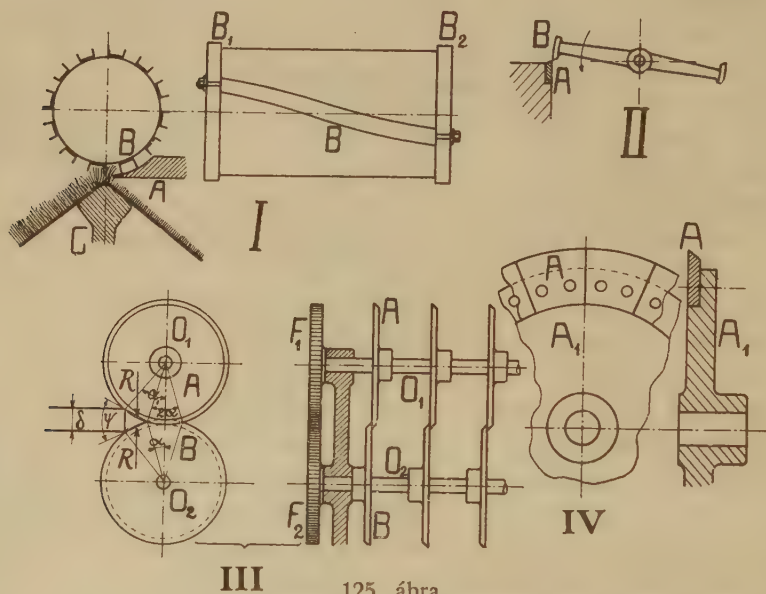
Az első csoportba tartozó elrendezés a 123. III. ábrán látható. Ez a rendszer leginkább a kézi szerszámoknál használatos, amint azt a 123. IV. ábra mutatja. Nagyobb erők kifejtése céljából a 124. ábrán látható elrendezést használjuk. Ennél az A élt a D tolórúd és E emeltyű áttevésével mozgatták, a tárgyat pedig G csavarral B élhez kötik. E rendszernek előnye, hogy olcsó, hátránya azonban, hogy az erő viszonyai változók; munkaközben ugyanis a ψ szög foly-



124. ábra.
Ferdeélű lemez-olló.

ton kisebbedik, miért is az erőszükséglet nő és hogy a nyíró sík hossza a tárgy vastagságával rohamosan csökken (l. a 123. III. ábrát). Az erőnek, vagyis a ψ szögnek állandóságát azzal érjük el, hogy a mozgó élt logaritmuskörvonal alakúra készítsük, amint azt a 123. V. ábra mutatja. Az ily szerkezetnek folytonos körmozgást is adhatunk s ekkor több élt is használhatunk, amint azt a 123. VI. ábrán látjuk. A nyíró sík hosszúságának a ψ -től való függetlenítését pedig azzal érhetjük el, ha mindkét élnek körvonal-alakot adunk és mind a kettőt forgatjuk. Az ilyen ollót *tárcsaolló*-nak nevezzük.

230. A tárcsaollók éleinek vastagságát a nyírás általános törvényei szerint készítjük, vagyis $\delta_{sz} = \delta_t \cdot \operatorname{ctg} \beta$, ha t. i. δ_{sz} a szerszám (tárcsa) vastag-



125. ábra.

A forgómozgást végző olló fajtái.

ságát, δ_t pedig a tárgy vastagságát jelenti. Minthogy a lemezt nemcsak nyírni, de elhajlítani is kell, ezért az olló élei a tengelyek középpontjainak összekötő vonalában egymás pályáját túlfedni kénytelenek. Kísérleti adatként közöljük, hogy a túlfedés szögének (2α -nak) 4° -nak kell lennie (l. a 125. III. ábrát). Hogy pedig e tárcsák a tárgyat maguk közé behúzhassák, a hengerelésnél közöltek szerint a legkülsőbb érintkezéspont-hoz húzott sugár központi szöge (α_1) a surlódás szögénél nagyobb nem lehet: $\alpha_1 = \varphi = 12^\circ$.

A szögek értékeit ismerve, a D átmérőjű tárcsával nyírható lemez δ_t vastagságát a következő módon határozhatjuk meg.

$$\text{A 125. III. ábra szerint } \frac{\delta_t}{2} = \frac{D}{2} (1 - \cos \varphi) - \frac{D}{2} (1 - \cos \alpha),$$

tehát

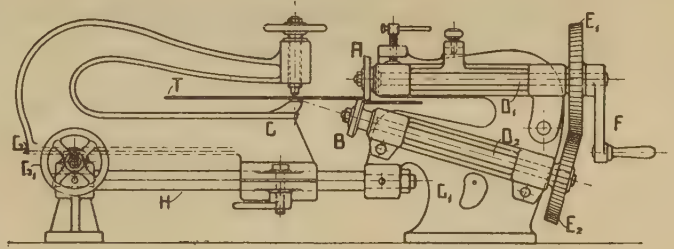
$$\delta_t = D (\cos \alpha - \cos \varphi) (=) 0,02 D. \quad (208.)$$

Minthogy egy darabból 200 mm-nél nagyobb átmérőjű tárcsák az edzés nehézségei miatt nem készíthetők, 200 mm-es tárcsával pedig csak 4 mm vastag lemezt nyírhatunk, ezért vastagabb tárgyak nyírásához a 125. IV. ábrán látható tárcsákat használjuk, vagyis az éleket edzett szeg-mentekből állítjuk össze.

A tárcsaollókat leggyakrabban a lemezeknek sávokra való darabolá-sánál használják. Ilyenkor a munka gyorsítása kedvéért a főtengetylen több ollópárt helyezhetünk el, amint azt a 125. III. ábra mutatja, ha pedig tárcsa-alakra kell a lemezt nyírni, akkor a 126. ábrán látható elrendezést használjuk. Ennél ugyanis a T tárgyat a C állványrészben levő kúpos szögek közé fogjuk be s ezzel lehetővé tesszük, hogy a lemez egy közép-pont körül forogjon. A B szerszám tengelyét a tárgy síkjához képest $10-12^\circ$ alatt állítjuk be, ezzel ugyanis biztosítjuk, hogy a tárgy a B tárcsa metszőszögének hátsó lapjára támaszkodik; az A szerszám tenge-lyét párhuzamosan kell

elhelyeznünk a tárgy síkjával. Mindkét ten-gely az E_1 és E_2 kúpke-rekek kapcsolata foly-tán egyformán forog. A felső tengelyt for-gattyúval vagy szíjdob-bal mozgatjuk. Végül megjegyezzük, hogy a készítendő tárcsák át-mérőjének beállítha-tása céljából a C rész H vezetékekkel bír és fogazott kerékkel az ollóhoz képest különböző távolságra tolható és helyzetében csavarral rögzíthető.

231. A 229. és 230. pontokban a ferdeélű ollónak azt a módo-sítását tárgyaltuk, amikor az élék síkjára normális tengely körül forog; a következőkben a forgás tengelyét az olló élével párhuzamossá tesszük. Ezt a szerkezetet a 125. II. ábra mutatja. Minthogy az él forgó moz-gást végez, a tengellyel több élt is összekapcsolhatunk. Az élék számát a tárgy előrehaladása, illetőleg a lenyírandó darabok hossza határozza meg. Hosszú darabok nyírásához legfeljebb két élt használhatunk (l. a 125. II. ábrát), rövidebbekhez azonban lényegesen többet, amint azt a 125. I. ábra mutatja. Ez utóbbi szerkezetű ollót fű és posztó nyírásá-hoz használják. A mozgó élt a ferde élű olló jellegénél fogva a henger alkotójával szemben spirálisan kell elhelyeznünk.



126. ábra.
Tárcsátinyíró olló.

β) Lyukasztás.

232. Minthogy a lyukasztás az egyenes élű, 90° metszőszögű olló hatásával azonos, a szerszám tartóját ép úgy kell egyenes irányban vezet-

nünk, mint a párhuzamos ollóét (l. a 121. ábrát). A tárgy kellő elhelyezése céljából a lyukasztó szerszámot is vesztegelni hagyjuk. E feladatot a 121. ábrán látható pótlékokkal, vagy oldható tengelykötéssel oldhatjuk meg. Pótlékok használata esetén a szerszám felemelését a G ellensúly végzi. Minthogy a szerszám a tárgyban erősen sűrűdik, a szerszámnak a tárgyból való kihúzása nagy erőt igényel. Hogy azt a gép az üres járat alkalmával kifejtthesse, a tárgyat az A és B szerszám közé helyezett ütközővel tartják vissza. A lyukasztókat gyakran ollókkal kombinálva közös állványra szerelik, amint azt a 121. ábra mutatja.

γ) Vágás.

233. A vágás műveletére az általános részben közöltek alapján két-féle szerszámot használhattunk, még pedig a 78. pont értelmében 90° metszőszögű szerszámot, azzal a módosítással, hogy az egyik fősíkban annak mérete nagyobb volt, mint a tárgyé, a 129. pont szerint pedig ékalakút. A 90° metszőszöggel bíró szerszám esetén a vágáshoz szükséges erő a $68/d$. képlet szerint, ha $b > 2\delta \operatorname{ctg} \beta$ a következő:

$$Q = E b q \cdot \sqrt{z_b} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta), \quad (210.)$$

ahol

$$z_b = \sqrt{\frac{(n_b + 1)(2n_b + 1)}{6n_b}}$$

és

$$n_b = \frac{b}{2\delta \cdot \operatorname{ctg} \beta},$$

a feszültség pedig:

$$q = \frac{q_f + q_1}{2} \sim \frac{q_f + q_e}{2}, \quad q = \frac{q_f + q_{\max}}{2} \text{ és } q(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) = q_{sz}.$$

Daraboláshoz azonban nem 90° -ú, hanem ékalakú szerszámot használnak és mert az éket úgy tartják, hogy a haladás iránya egybeessék az ék szögfelező vonalának irányával, azért ékszöge a metszőszög kétszeresével, azaz 2γ -val lehet egyenlő, γ -nak pedig a szúrásnál kifejtettek szerint α -nál kisebbnek kell lennie ($\gamma < \alpha$).

Minthogy ily ékalakú szerszám használásánál a képletben E -vel jelölt pengevastagság a 127. l. ábra szerint az ék behatolásától függ, s mert értéke az ábra szerint:

$$E = ac = 2ae = 2 \cdot eo \cdot \operatorname{tg} \gamma,$$

vagy — ha az $eo = s$ jelölést használjuk — akkor

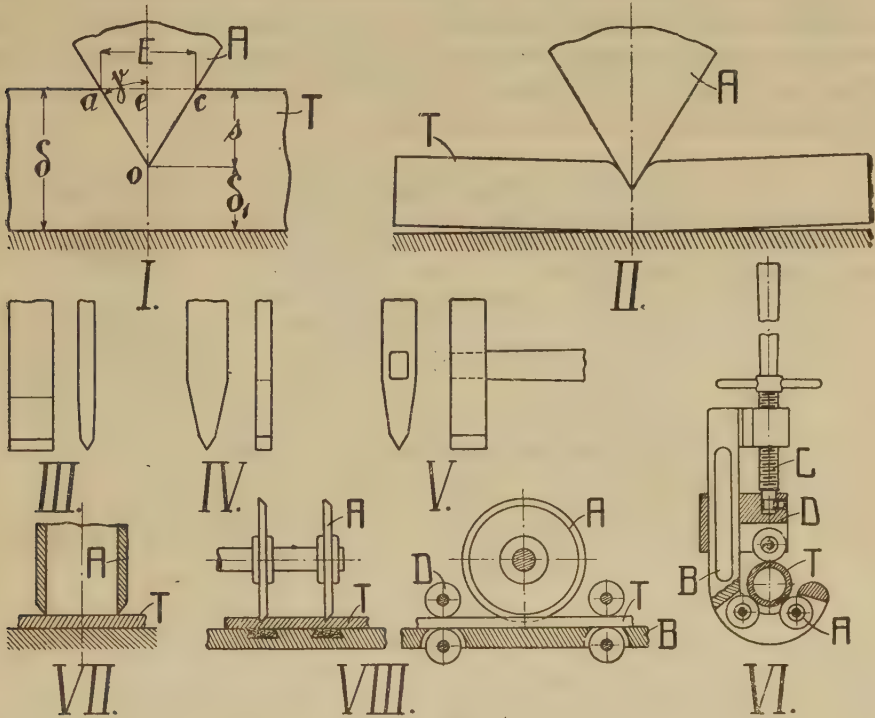
$$E = 2s \operatorname{tg} \gamma, \quad (211.)$$

ezért ezt az értéket kell a 210. képletbe helyettesítenünk. Hogy a q változását is meghatározhassuk, a szerszám (s) behatolását a deformálás mér-

tékében kell kifejeznünk. Kísérleti tény, hogy a vágott darab felszíne ép úgy behorpad, mint a nyírott, ennél fogva s a 38. ábra és a 72. képlet szerint így fejezhető ki:

$$s_{max} = \delta - \delta_1 = \delta - \frac{\delta}{1 + \lambda_{max}} = \delta \frac{\lambda_{max}}{1 + \lambda_{max}}. \quad (212.)$$

Vágásnál az eddig ismertetett jelenségen kívül még az erő hajlító hatását is figyelembe kell venni. CODRON kísérleteiből kitűnt, hogy a



127. ábra.

A vágószerszámok fajtái.

vágott rúd a berepedés beállta előtt elhajlik, amint ezt a 127. II. ábra mutatja. A hajlítás erőszükséglete, amint azt CODRON kísérleti adatai nyomán megállapíthattuk, a $\sqrt{ctg \gamma}$ tényező értékével növekszik. Ezt a kísérleti tényezőt, valamint a 211. és 212. képletek értékeit a 210-be helyettesítve a maximális erő képletét így fejezzük ki:

$$Q_{max} = \delta \cdot b \cdot \frac{2\lambda_{max}}{1 + \lambda_{max}} q_{sz} \cdot \sqrt{z_b} \sqrt{tg \gamma}, \quad (213.)$$

amely kifejezésben
$$\sqrt{z_b} = \sqrt[4]{\frac{(n_b + 1)(2n_b + 1)}{6n_b}},$$

de mert $n_b = \frac{b}{2 \delta_x \operatorname{ctg} \beta}$ és az irányvonalak metszéspontjának a felszíntől mért távolsága: $\delta_x = \frac{E}{2} \operatorname{tg} \beta$, továbbá mert $\frac{E}{2} = s \operatorname{tg} \gamma$, azért

$$n_b = \frac{b}{2 s \operatorname{tg} \gamma} = \frac{b}{2 \delta \frac{\lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}} \cdot \operatorname{tg} \gamma}$$

Képletünk használhatóságának ellenőrzéséül a CODRON-féle kísérleti viszonyoknak megfelelően kiszámítottuk az erőnek a kilágyított vörösrézre és a folyasztott vasra vonatkozó értékeit és ezeket a kísérleti értékekkel együtt a XXX. táblázatba foglaltuk. A kilágyított vörösréz adatait a III. táblázat alapján ismerteknek vehetjük.

XXX. táblázat.

V á g á s						Harapás			
Avörösréz jellemző adatai: $q_f=2,6 \text{ kg/mm}^2$, $q_e=30,9 \text{ kg/mm}^2$, $q_{max}=37,5 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_e=0,28$, $k=0,43$, $\lambda_{max}=0,80$, $tg^2 \beta=1,1$, $q_{sz, max}=\frac{q_f+q_{max}}{2} (1 + tg^2 \beta) = 42$, $2 \frac{\lambda_{max}}{1 + \lambda_{max}} = 0,89$						Az ólom jellemzői : $q_f=0,16$; $q_e=2,7$; $\lambda_e=0,25$; $k=1,2$; $tg^2 \beta=1,25$; $q_{sz}=3,2$; $\frac{\lambda_{max}}{1 + \lambda_{max}} = 0,41$			
γ	ha $\delta=12 \text{ mm}$ és $b=12 \text{ mm}$			Q_{max}^{kg} , ha				ha $\delta=b=40 \text{ mm}$	
	$\sqrt{tg \gamma}$	n_b	$\sqrt{z_b}$	$\delta=12 \text{ mm}$, $b=12 \text{ mm}$		$\delta=15 \text{ mm}$, $b=15 \text{ mm}$			
				kísérlet.	számít.	kísérlet.	számít.	kísérleti	számított
7,5°	0,36	3,1	1,12	1800	2180	—	—	—	—
15°	0,51	2,11	1,06	2600	2943	4100	4591	750	720
22,5°	0,64	1,6	1,03	3250	3597	5300	5611	—	—
30°	0,75	1,28	1,01	3800	4142	6500	6461	—	—
37,5°	0,87	1,02	1	4400	4741	7500	7395	—	—

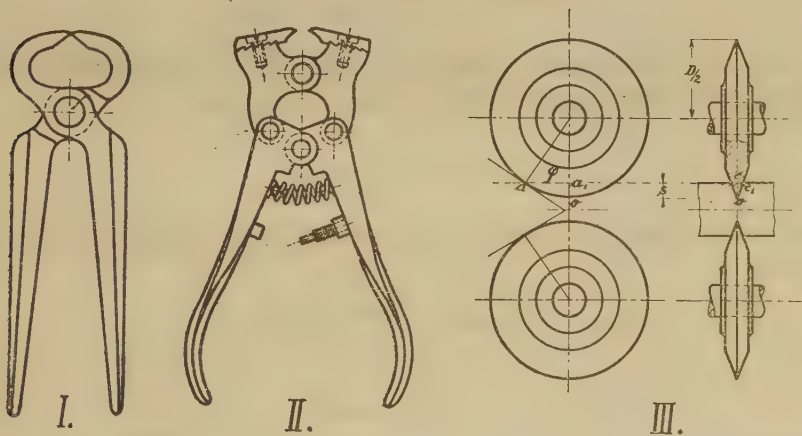
E táblázat értékeinek összehasonlításából kitűnik, hogy képleteink a vágás maximális erőszükségletének meghatározására megfelelnek.

Fémeket kézi és gépi erővel szokás vágni. A lakatos kézi vágószerszámaikat a 127. III.—IV. ábrák mutatják. Mi e szerszámot *vágónak* nevezzük, ha élének hossza nagyobb a szerszám vastagságának kétszeresénél, ha azonban ennél csekélyebb, *véső* a neve. A kovács vágószerszámát a 127. V. ábra szemlélteti. Gépüzemnél az ékalakú szerszámot sajtóval hajtják be a tárgyba; ilyenkor nemcsak egyenes vonalú, de zárt vonallal

bíró szerszámot is használhatunk, amelynek neve *formás vágó* s ennek metszetét a 127. VII. ábra mutatja. Egyenes vonalú bevágásokhoz a 127. VIII. ábrán bemutatott tárcsás szerszámot használják, csövek levágásához pedig a 127. VI. ábrán látottat.

δ) Harapás.

234. Harapással való daraboláshoz éppen olyan ékalakú szerszámokat használunk, mint a vágáshoz (l. a 127. I. ábrát), de mert harapásnál egyidejűleg két szerszám hatol a δ vastagságú testbe, ennél fogva egy-egy szerszám csak $\frac{\delta}{2}$ vastagságú tárgy ellenállását győzi le, de mert



128. ábra,
Harapó szerszámok.

a többi részben pedig a viszonyok azonosak mint a harapásnál, azért a 213. képlet így módosul:

$$Q_{\max} = \delta b \frac{\lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}} q_{sz} \sqrt{z_b} \sqrt{\tan \gamma}. \quad (214.)$$

Képletünk használhatóságának ellenőrzésére CODRON kísérleteit használjuk fel. Ő ugyanis ólommal végzett harapó kísérleteket. Minthogy az ólom jellemzőit a III. s a XVIII. táblázat alapján már ismertnek tekinthetjük, a 214. képlettel kifejezett legnagyobb erő értékét kiszámíthattuk. Számításunk eredményét a XXX. táblázatba foglaltuk. Az ott közölt kísérleti és számított értékek egybevetéséből kitűnik képletünk használhatósága.

A harapást is kézi és gépi erővel szokás végezni. A kézi szerszám neve harapófogó: ez vagy egy csuklóval bíró kétkarú emeltyű (l. a 128. I. ábrát), vagy pedig több kar kombinációja (l. a 128. II. ábrát).

235. Hosszabb tárgyaknak harapással való darabolásához tárcsákat használnak. A tárcsák élének ékszögét $2\gamma = 30^\circ$ -nál nagyobbra nem vesszük. E tárcsák a tárgyba a 128. III. ábra szerint oly mélyre hatolnak be, hogy

$$s = \frac{\delta}{2} \frac{\lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}}$$

legyen, s mert az ábra szerint

$$s = \frac{D}{2} (1 - \cos \varphi)$$

és végre, mert φ szög a surlódás szögénél nagyobb nem lehet, azaz mert $\varphi \equiv 12^\circ$, azért

$$D \equiv \delta \frac{\lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}} \frac{1}{1 - \cos 12^\circ}. \quad (215.)$$

Tárcsás szerszámok esetében a szerszám $a a_1$ ívben érintkezik a tárggyal, tehát úgy hat, mint ha a tárgy szélessége

$$b = a a_1 = \frac{D}{2} \sin \varphi \quad (216.)$$

volna, ennél fogva a tárcsára kifejtendő maximális erő képlete így fejezhető ki:

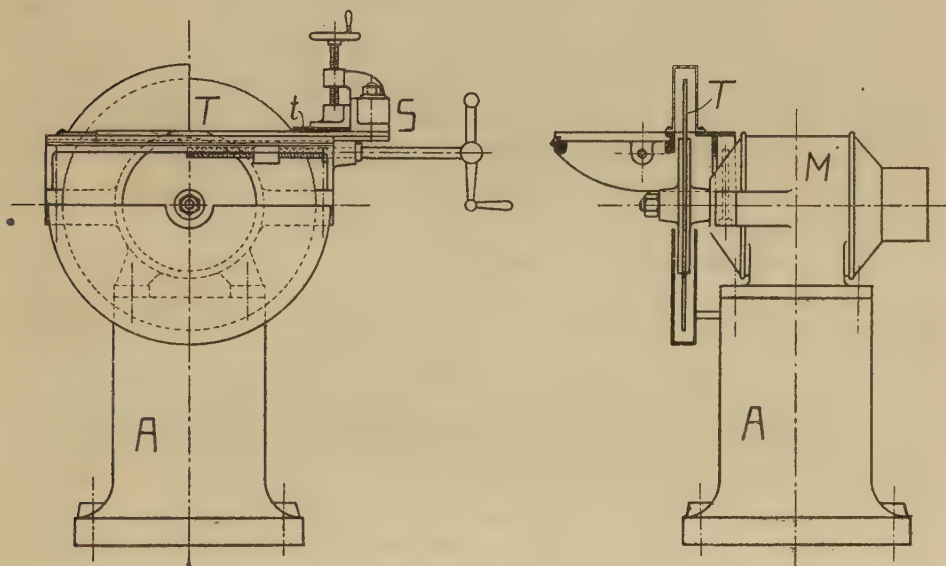
$$Q_{\max} = \delta \frac{D}{2} \sin \varphi \frac{\lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}} q_{sz} \sqrt{z_b} \sqrt{\tan \gamma}. \quad (217.)$$

e) Metszés.

236. A metszés a vágástól a 130. pontban kifejtettek szerint csak abban különbözik, hogy a szerszámot élének hosszúsága irányában elmozdítjuk. Minthogy a szerszám éle mindig érdes, az elmozdítás következtében a szerszám érdessége a tárgyra karcot, esetleg kaparást fejt ki. Mindkét műveletnél a forgács $\lambda_{\max}$ -ig nyulik meg, mielőtt elszakad. Minél nagyobb az él sebessége, annál hatályosabb az érintkező részek nyújtása. A metszés kézi eszköze a kés. Minthogy ennek éle a 62. ábra szerint fűrészelt, hatását fokozhatjuk, ha az élt nem egyenes vonalban, hanem hullámvonal alakban készítjük el. A hullámos elrendezés főleg azért kedvező, mert az él ferdesége következtében a metszőszög kisebbedik, ezzel tehát az erőszükséglet is csökken.

Vasanyagok metszésének gépies végrehajtásához a 129. ábrán látható hullámos élű tárcsaalakú szerszámot használjuk. A tárcsa élének hullámosítását úgy érjük el, hogy területét tompa fűrészfogakkal borítjuk. E tompaélű fűrészpenge nagy surlódást okoz, tehát nagy melegmennyiség képződik, amely a vasanyagokat felmelegíti. Az ily úton nyert meleget az anyag melegvezetőképessége a keletkezés helyéről továbbítja. Ha

a surlódás folytán előállott melegmennyiség nagyobb, mint amennyit a tárgy anyaga elvezethet, a tárgy surlódó része izzóvá válik; ezzel a metszés kedvezőbb viszonyok között megy végbe, mert az izzó vas ellenállása rohamosan csökken. Ha az izzás közel áll a szolidusz hőfokához, az elválasztott izzó részek a levegő oxigénjével egyesülve, szikra alakjában elégnék. Minél széndúsabb a metszendő vasanyag, annál alacsonyabb a szolidusza, tehát annál gyorsabban lágyul és így annál könnyebben ég el. Ez az oka annak, hogy az acél könnyebben metszhető, mint a kovácsvas és hogy a metszést nem befolyásolja a metszendő



129. ábra.
Acélmetsző tárcsa.

acél edzett, vagy pedig edzetlen állapota. Minthogy a surlódás folytán a metszőszerszám is átmelegszik, a szerszámot lehetőleg szénszegény anyagból készítjük, mert ennek szolidusza a legmagasabb. A metszőszerszámot, ha a metszés hossza az átmérő $\frac{1}{5}$ részénél kisebb, a levegő eléggé hűti, különben vízzel is kell hűteni.

A metszéshez szükséges munkamennyiség meghatározása céljából a királyi József-műegyetem mech.-techn. laboratóriumában levő, a 129. ábrán látható elrendezésű géppel különböző mennyiségű vasfajokat metsettünk. E gép *T* tárcsáját az *M* elektromos motor hajtotta $v = 78 \sim 80$ m másodpercenkénti kerületi sebességgel.

A metszendő tárgyat (*t*) a tárgytartó szánba (szupportba *S*) fogtuk; rendes üzemben a tárgyat a szán vezetőcsavarjával toljuk a tárcsához, kísérleteinknél azonban a szán vezetőcsavarját leszereltük s ehelyett súly-

terheléssel tolattuk a tárgyat a szerszám éle felé. Ez elrendezéssel a szerszám és a tárgy között a nyomás értéke állandó volt az egész metszés ideje alatt.

Hatféle anyaggal kísérleteztünk különféle súlyterheléssel, közben megfigyeltük a metszés idejét és a metszett szél tisztaságát és ekkor kitűnt, hogy akkor legtisztább a metszett tárgy széle, ha az előretolás sebessége (v_t) a tárgy keménységével a következő összefüggésben áll:

$$v_t \text{ mm/sec} = \frac{160}{\sqrt{q_{\max} \text{ kg/mm}^2}} \quad (218.)$$

Az ennél kisebb sebességgel végzett metszésnél a tárgy felmelegedése elégtelen, miért is a rés anyaga nem ég el, hanem a metszősík oldalaira nyomódik ki és a metszett felületet szegélyezi. Minthogy az ilyen éles szegély a tárgy használhatóságát korlátozza, azt el kell távolítani, ami költséggel jár, miért is indokolt, hogy a metszést oly nagy sebességgel végezzük, hogy ennél a rés anyaga szikrázva elégjen.

Megfigyeltük továbbá a sebesség (v_t) és az alkalmazott fajlagos terhelés (q_v) viszonyát is s úgy találtuk, hogy ezek lineáris viszonyban állanak:

$$v_t = 6 q_v \quad (218' a.)$$

Ez értéket a 218. képletbe helyettesítve, a következő egyenletet kapjuk:

$$q_v = \frac{26.66}{\sqrt{q}} \quad (218' b.)$$

A fajlagos nyomás tehát az anyag keménységének növekedésével csökkenthető.

E jelenség oka az, hogy a tárgy keménységével nő a belső fajlagos munka, ennél fogva a melegmennyiség is. A keményebb tárgyból tehát kisebb anyagmennyiséget kell elforgácsolnunk, hogy azonos meleg mennyiséget nyerjünk, miért is keményebb tárgy metszésénél a sebesség kisebb lehet.

Megfigyeltük végre a metszéshez szükséges elektromos energiát is s ebből kiszámítottuk a fajlagos energiát. Ez adatokból kitűnt, hogy a 218. képlettel megadott sebességnél kisebb sebességgel végzett metszéshez nagyobb fajlagos munka kell, az ennél nagyobb sebességgel végzett metszésnél pedig a fajlagos munka majdnem ugyanolyan, mint a szabványosnál.

Metszésnél a szerszám minden foga karcolást végez, ennél fogva a metszőszerszám munkaszükséglete a 140. képlet alapján kiszámítható. Minthogy a karcolóerő iránya a főmozgás irányába esik s mert a fő-

mozgás iránya tárcsával való metszésénél az érintő iránya, ennél fogva 140. képletünk a tangenciális erőt adja. Az idézett képlet ez:

$$Q_{max} = \delta \cdot b \cdot q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \left(1 + \frac{\delta}{3 b \tan \beta} \right) \sqrt{z_b} (1 + f \cdot \tan^2 \beta) \left[1 + \frac{1,33 \cdot \sin^2 \beta \sqrt{1 + \lambda_{max}}}{\sqrt{z_b} (1 + \lambda_e) \left(1 + \frac{\delta}{3 b \tan \beta} \right) (1 + f \tan^2 \beta)} \cdot \frac{q_e}{q_{max}} \cdot \frac{\delta}{b} \right]$$

Az e képletben előforduló q_{max} és λ_{max} a karcolás időszakában érvényesült anyagtulajdonságokat jelzi. Ha feltesszük, hogy az izzás hőfoka állandó, akkor e tulajdonságok számértékei a hideg állapotra vonatkozó tulajdonságok számértékeitől csak egy állandó tényezővel különböznek. A képletben szereplő δ -ra vonatkozólag figyelembe veendő, hogy ez az egy fogra eső forgácsvastagságot jelenti. Minthogy a szerszám a tárgygyal l hosszúságú darabon (l a lemez vastagsága) érintkezik, azért egyidejűleg $\frac{l}{\tau}$ fog forgácsol, ha ugyanis τ -val a fogak osztását jelöljük. Miért is a

fenti képletbe δ helyett $\delta \frac{l}{\tau}$ teendő. A képletben szereplő b a rés szélességét jelöli. Ámde δ lényegesen kisebb b -nél, azért $\left(1 + \frac{\delta}{3 b \tan \beta} \right)$ tényező az egységtől csak kevéssé tér el, ezért azt egységnek vesszük; a $\sqrt{z_b} (1 + f \tan^2 \beta)$ tagot pedig állandónak tekinthetjük és az A tényezőbe foglalhatjuk, a nagy zárójelbe foglalt tagot pedig ugyancsak az egységgel egyenlőnek vehetjük, mert δ kis értékű és mert izzó állapotban $q_e = q_{max}$ viszonyuk az egységgel egyenlő. E rövidítéseket a 140. képletbe hozva, a metszés erőszükségletének közelítő képlete:

$$Q_{max} = \frac{\delta l}{\tau} \cdot b \cdot q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \cdot A \quad (219.)$$

és a másodpercenkénti munka:

$$\mathfrak{M} = Q_{max} \cdot v_{sz} = v_{sz} \cdot \delta \cdot \frac{l}{\tau} \cdot b \cdot q_{max} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{max}} \cdot A. \quad (219/a.)$$

Ámde $\frac{v_{sz} \cdot \delta}{\tau}$ a másodpercenként elforgácsolt réteg vastagságát jelenti, azt v_t -vel jelölve, képletünk így módosul:

$$\begin{aligned} \mathfrak{M}_{mkg|mp} &= Q_{max} \cdot v_{sz} = v_t \cdot l \cdot b \cdot q_{max} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{max}} \cdot A = \\ &= \frac{1}{9,81} \cdot E \cdot J = 0,102 EJ. \end{aligned} \quad (219/b.)$$

Ebből a fajlagos watt-mennyiség:

$$\frac{E \cdot J}{v_t \cdot l \cdot b} = A_1 \cdot q_{max} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{max}}. \quad (219/c.)$$

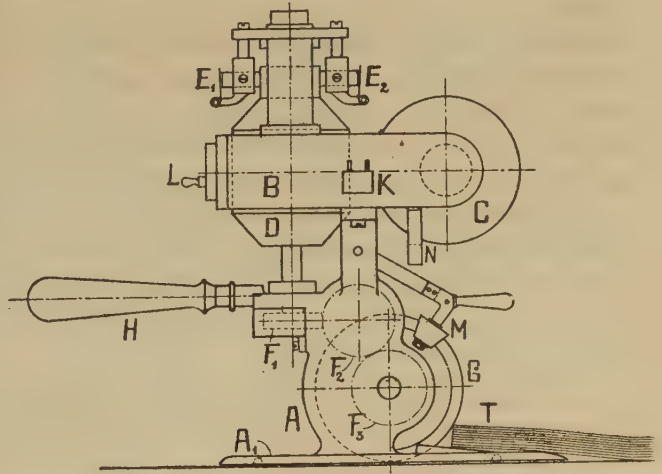
Kísérleteink eredményeit a XXXI. táblázatba foglaltuk.

XXXI. táblázat.

Az anyag jellemzői	Kísérleti adatok, ha a metszés hossza: 100 mm							Számított adatok, ha $A_1 = 0,18$					
	l	b	$\Delta - l, b$	Q_{kg}	$\frac{Q}{\Delta} = q_v$	mp	$v_t \text{ mm}$	EJ	$\frac{EJ}{\Delta \cdot v_t}$	$\frac{q_{max}}{\sqrt{1 + \lambda_{max}}}$	$\frac{A_1 q_{max}}{\sqrt{1 + \lambda_{max}}}$	v_t	q_v
471. s. sz. $p_e = 106,2, \lambda_e = 0,076, tg^2 \beta = 1,14,$ $q_{max} = 133, \lambda_{max} = 0,50, k = 0,35,$ $m_e = 6500$	3	3,2	9,6	31	3,2	7	14,3	4060	29,6				
	3	3,2	9,6	41	4,3	5	20	5630	29,3	163	29,4	13,9	2,3
	3	3,2	9,6	51	5,3	4	25	7670	31,9				
472. s. sz. $p_e = 75 - 89, \lambda_e = 0,10, tg^2 \beta = 1,16,$ $q_{max} = 125, \lambda_{max} = 0,60, k = 0,7,$ $m_e = 6200 - 8300$	4	3,2	12,8	31	2,4	7	14,3	4500	24,6				
	4	3,2	12,8	41	3,2	6	16,7	5400	25,3	158	28,6	14,4	2,4
	4	3,2	12,8	51	4,2	5	20	7900	30,8				
473. s. sz. $p_e = 76 - 86, \lambda_e = 0,10, tg^2 \beta = 1,16,$ $q_{max} = 116, \lambda_{max} = 0,60, k = 0,78,$ $m_e = 7500 - 8400$	5	3,2	16	31	1,9	8	11,5	5260	28,6				
	5	3,2	16	41	2,5	6	15,4	5500	22,2	147	26,5	15	2,5
	5	3,2	16	51	3,2	5	20	6600	20,2				
474. s. sz. $p_e = 62 - 75, \lambda_e = 0,106, tg^2 \beta = 1,26,$ $q_{max} = 97, \lambda_{max} = 0,70, k = 0,95,$ $m_e = 6700 - 8400$	5,5	3,2	17,6	31	1,7	8	11,5	4800	23,8				
	5,5	3,2	17,6	41	2,3	7	13,1	6600	28,6	127	23	16,6	2,76
	5,5	3,2	17,6	51	2,9	5	20	8800	25,5				
475. s. sz. $p_e = 51 - 56, \lambda_e = 0,165 - 0,175,$ $tg^2 \beta = 1,36, q_{max} = 88, \lambda_{max} = 0,70,$ $k = 1,05, m_e = 6700 - 8200$	5,9	3,2	19	31	1,6	8	11,5	5800	26,5				
	5,9	3,2	19	41	2,2	6	15,4	6100	21,1	115	20,8	17,2	2,86
	5,9	3,2	19	51	2,6	5	20	8800	23,2				
476. s. sz. $p_e = 43 - 49, \lambda_e = 0,20 - 0,22,$ $tg^2 \beta = 1,36, q_{max} = 79, \lambda_{max} = 0,70,$ $k = 1,20, m_e = 7400 - 7700$	4	3,2	12,8	31	2,4	6	17	3960	15,2				
	4	3,2	12,8	41	3,2	5	20	5700	22,3	103	18,6	18	3
	4	3,2	12,8	51	4,2	4	25	5300	26				

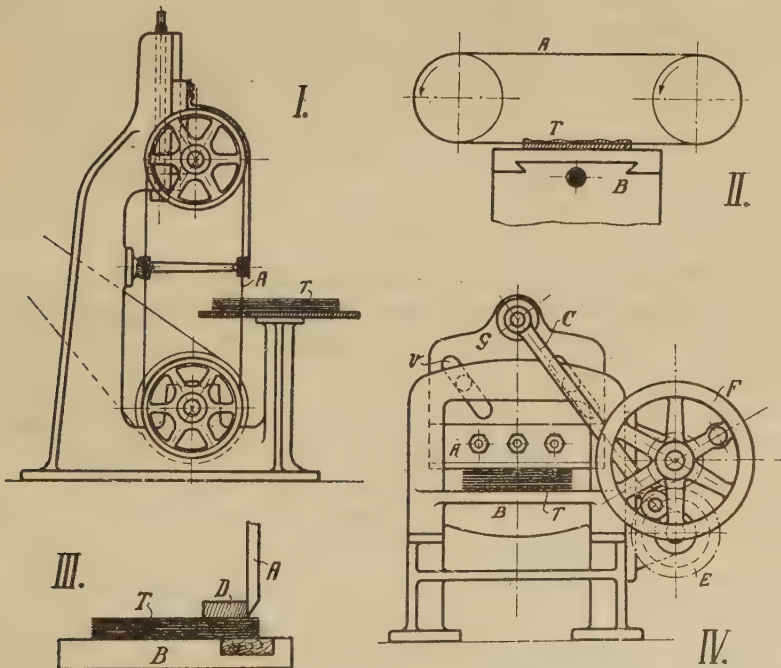
E táblázatból kitűnik, hogy a 219/b. képletben kifejezett A_1 tényező tényleg állandó s hogy $A_1 = 0,18$ -nek vehető.

Lágy anyagok, például szövetek met-széssel való darabolá-sához a 130. ábrán lát-ható H kézi fogantyú-val vezethető, BCD motorral elektromosan hajtott G tárcsát használjuk. Ilyenkor a T szövetrétegek a munka-asztalon vesztegelnek és az egész gépet, mi-után a G tárcsa A_1 alaplapját a szövet alá helyeztük, a metszés-vonal irányában vezet-jük; minthogy a met-szendő anyag tömöríthető lesz, az ábrán látható M köszörűkő az élt folytonosan tisztítja s élesíti. Szövetmetszéshez a 131. I. ábrán látható



130. ábra.

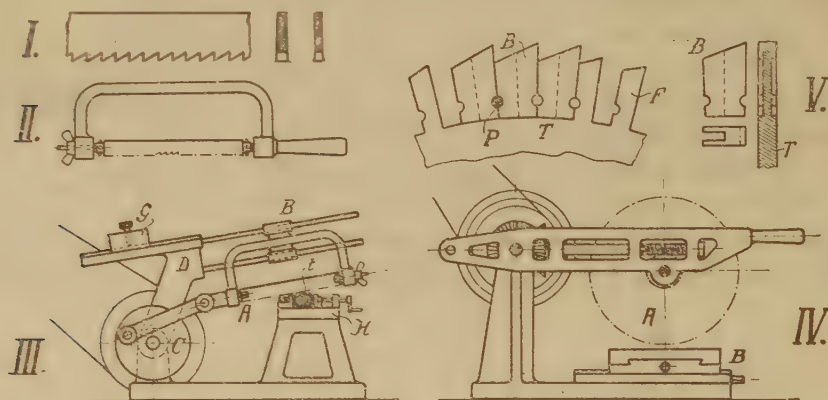
Elektromótorral hajtott szövet-metsző tárcsa.



131. ábra.

Szövet-, bőr- s papiros-metsző gépek.

szalagszerű A pengét is használjuk, akkor a T szövetrétegeket kell a pengére tolni. Bőrök hasításához ugyancsak szalagszerű A pengét használnak, de a szalag vízszintes síkban mozog (lásd 131. II. ábrát), a kifeszített T tárgy a pengére tolandó. Mindkét esetben az él tisztán tartására s köszörülésre különös gond fordítandó. Papiroslapok darabolásához a 131. III., IV. ábrákon látható szerkezetet használjuk. Ennél a metszendő T papiroslapokat a D szorítóval az asztalhoz (B) rögzítjük, hogy az A szerszám surlódása következtében el ne mozduljanak. Az A pengét az E tárcsában levő forgattyúcsap a C tolórúd segítségével mozgatja, de mert a G szerszámtartó a v ferde vezeték irányát követi, a penge nemcsak lefelé, hanem az él irányában is elmozdul, tehát metszeni fog.



132. ábra.
Vas- és fém-ipari fűrészek.

ζ) Fűrészelés.

237. A fűrészeléssel való darabolást a fémiparban csak vékonyabb daraboknál használják. A fűrészfogak metszőszögét 90 fokra veszik s hogy a fűrész pengéje a résben be ne ékelődjék, a penge keresztmetszetét vagy trapéz alakúra készítik, vagy az élek mentén oly módon duzzasztják, amint azt a 132. I. ábra mutatja. A vékony szalagszerű fűrész pengéjét úgy merevítjük, hogy U -alakú keretbe kifeszítve fogjuk be, a hogy azt a 132. II. ábrán látjuk. Az ilyen fűrész gépi üzemre is berendezhető. Ilyenkor, amint az a 132. III. ábrán látható, az A szerszám B egyenes-vezetékben mozog, mozgását pedig a C forgattyútárcsától nyeri; hogy a penge a tárgyra nehezedjék, a penge B egyenes-vezetéke a D -re van szerelve. Minthogy a fűrészpengét a tárgy keménysége arányában kell a tárgyra rányomni, a B egyenes-vezetéken G ellensúly is van. A t tárgyat a H satúba foglaljuk.

Ily fűrészelőgépek kilengése: 140 mm, fordulatszáma percenként: 80,

a szükséges hajtó lóerőszám: 0,1 és munkaképessége óránként 70 cm^2 felület, ha a tárgy szélessége 12 mm és anyagának jellemzői: $p_e = 46 \text{ kg/mm}^2$, $\lambda_e = 0,22$, $k = 1,3$.

Fémek darabolásához a körfűrész is használják. Hideg állapotú vasfajok fűrészelésénél a szerszám sebessége, ha az szén-acélból készült: 10—15 m/perc; ha pedig gyorsforgácsoló acélból: 15—40 m/perc.

Vörösréz- és sárgaréz fűrészelésénél a szerszám sebessége a vasra megadott értékek kétszeresére vehető. Minthogy hideg fémek fűrészelésénél a szerszám sebessége csekély, azért azt lassító áttevések közbeiktatásával mozgatják, amint az a 132. IV. ábrán látható. Vastag tárgyak fűrészeléséhez nagyobb átmérőjű, vastagabb pengét (A) használnak. Ilyenkor a fogazatot vagy szegmenteken képezik ki, amint azt az ollóknál láttuk, vagy pedig a 132. V. ábrán látható B betétes fogakat használják, amelyek a lágyvasból készült T tárcsa F fogazataira illeszthetők és helyzetükben a P sárgarézpecekkel megerősíttetnek.

b) Forgácsolás.

α) A forgácsoló gépek elnevezése.

238. Forgácsoláshoz a 131., 132. pontban kifejtettek szerint oly szerszámot használtunk, amelynek éle hosszabb a megmunkálandó felület szélességénél. Ez az elrendezés azonban nagyobb felületek megmunkálására alkalmatlan, ugyanis, ha széles forgácsot szelünk, az erőszükséglet a $\sqrt{z_b}$ tényező folytán igen nagyra nő és a hosszú élek épségben tartása szerfelett költséges.

Nagyobb felületekről éppen ezért először is keskenyebb és csekélyebb vastagságú forgácsot szelünk le, mint amekkora az eltávolítandó réteg, ekkor azonban az első forgács leválasztása után, további forgácsolás céljából, a szerszámot a forgács szélessége irányában δ_r darabbal kell eltolnunk; ha a tárgyról ilykép egy bizonyos vastagságú réteget eltávolítottunk, a szerszámot δ_v mérettel mélyebbre kell helyezni.

Az elmondottakból következik, hogy nagyobb felületek megmunkálásánál a tárgy és a szerszám viszonylagosan nemcsak a forgács hosszának irányában, de annak vastagsága és szélessége irányában is kénytelen elmozdulni. E mozgások közül a forgács hosszirányába esőt *főmozgásnak* (v_1), a forgács szélessége irányába, vagyis a forgácsolt felületre tangenciális irányba esőt *előretoló mellékmozgásnak* (δ_r), a vastagság irányába esőt pedig, vagyis a forgácsoló felületre normális irányút *mélyítő mellékmozgásnak* nevezzük (δ_v). A szerszámgépek elnevezésére e mozgások mértékadóak.

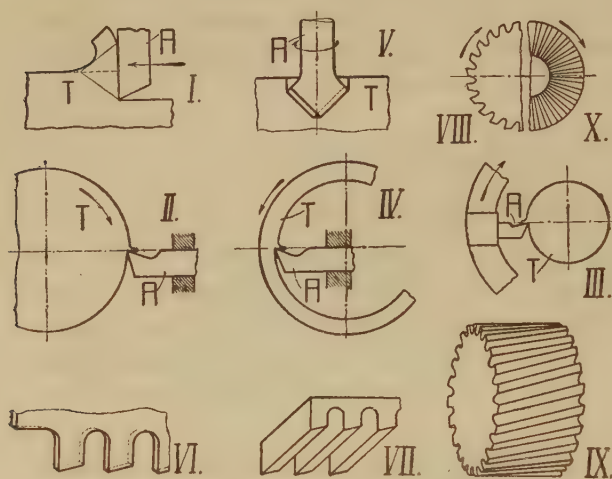
Minthogy forgácsolásnál csak a momentán haladás iránya a lényeges, ezért a főmozgás lehet haladó vagy forgó, de mert a haladó mozgás létesítéséhez egészen más szerkezetek kellenek, mint a forgó moz-

gáshoz, ezért a szerszámgepeket *haladó és forgó mozgást végzők* csoportjára osztjuk. Minthogy továbbá a szerszámgepek szerkezete lényegesen megváltozik, ha a szerszám egyidejűleg egy él helyett sok éllel dolgozik, ezért a csoportosításnál e szempontot is figyelembe vesszük, hasonlóképpen a mellékmozgásokat is, főképpen pedig azt a körülményt, hogy hányféle mozgást végez a tárgy és hányfélét a szerszám.

E szempontok alapján a szerszám-gepek szokásos felosztása a következő:

α_1) *A haladó mozgással bíró, egyélű szerszámokkal működő gépek, a gyalúk* (l. a 133. I. ábrát). Jelzőjüket a főmozgás iránya szabja meg. Ha ugyanis a főmozgás a tárgy hosszúságának irányát követi, *hosszgyalúnak*,

ha a szélesség irányát: *harántgyalúnak*, akkor pedig, ha a főmozgás a vastagság irányát követi: *függőleges gyalúnak* nevezzük.



133. ábra.

A forgácsoló-szerszám működésének módja.

szerszámgépet *esztergának* nevezzük, még pedig *rendes esztergának*, ha a tárgy végzi a főmozgást (l. a 133. II. ábrát) és *gyűrűs-esztergának*, ha a szerszám végzi azt (l. a 133. III. ábrát), ellenben, ha e mellékmozgás a felszín felé tart, *hengerfúró* a neve (l. 133. IV. ábrát); az olyan szerszám-gép, amelynél a forgás tengelye a megmunkálandó tárgy felszínére normális, a *lyukfúró* (l. a 133. V. ábrát). Az utóbbinál az előretoló mellékmozgás (δ_r) lehetetlen, a szerszám tehát csak a δ_v mélyítő mellékmozgással dolgozik.

γ_1) *A haladó főmozgással bíró, sokélű szerszámok* az élek hossza és azok elrendezése szerint három csoportra oszthatnak. Ha ugyanis az élek hossza a tárgy szélességének csekély hányadával egyenlő és az élek mesterségesen készültek, a szerszám neve: *fűrész* (l. a 133. VI. ábrát), ha pedig az élek hossza a tárgy szélességénél nagyobb, *marólap* (lásd a 133. VII. ábrát); ha az élekkel borított felület keskenyebb a tárgynál,

a szerszám neve *reszelő*, föltéve, hogy éleit mesterségesen készítjük, ellenben, ha az éleket az anyag szemcséi alkotják, *koptató-lapnak* vagy *fenőkőnek* nevezzük.

δ₁) A *forgó főmozgású, többélű szerszámok* elnevezésénél az élek elhelyezésén kívül döntő befolyással bír az előretolásnak az él hosszához való viszonya is, ugyanis, ha az előretolás kisebb az él hosszánál, a szerszám forgácsol, ha nagyobb, akkor csak karcol. Végre befolyásolja az elnevezést az élek helyzete is, nevezetesen az a körülmény, hogy azok a pályájukat alkotó körnek külső vagy belső vonala mentén, vagy pedig a kör által bezárt homloklapfelületen vannak-e elhelyezve. Ha az élek kurták és a körpálya külső vonala mentén illeszkednek, a szerszámot *körfűrésznek* (l. a 133. VIII. ábrát), ha hosszúak, akkor *köpenymarónak* nevezzük (l. a 133. IX. ábrát) föltéve ugyanis, hogy az élek mesterségesek; mert ha természetesek, a szerszámot *koptató-* vagy *csiszolókorongnak* nevezzük.

A kör belső oldalára illeszkedő, sokélű karcoló szerszám neve *csavarvágó*.

A homloklapra elhelyezett, mesterséges élű szerszámot *homlokmarónak* (l. a 133. X. ábrát), a természetes élekkel bírót pedig *koptatótárcsának* nevezzük.

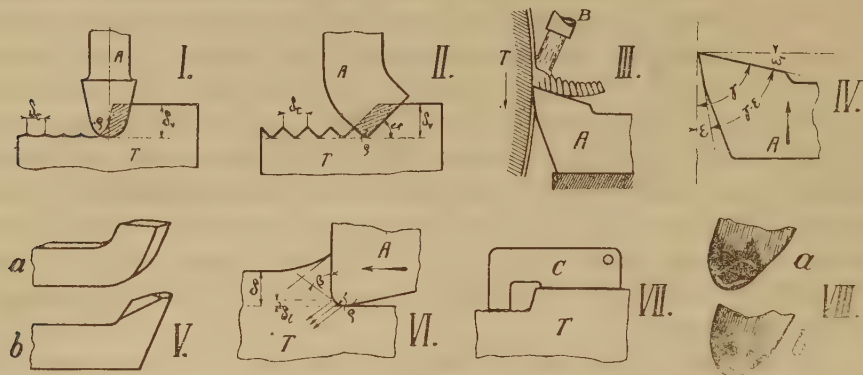
β) A megmunkált felület egyenlőtlenségének foka.

239. A forgácsolásról szóló általános részben részletesen kifejtettük, hogy egyazon metszőszög használata esetén a megmunkált felület egyenlőtlensége a forgács vastagságának a függvénye. Minden forgácsoló felület ugyanis hullámos, mert a forgács részben a forgácsoló sík alatt, részben pedig a fölött reped be. A gyakorlatban a megmunkált felületek egyenlőtlenségét a megmunkált felületen levő hullámhegyek és hullám völgyek különbségével határozzák meg s ehhez képest a felület milyenségét más-más elnevezéssel látják el.

Nagyoltnak akkor nevezzük a felületet, ha e különbség 0,1 mm-nél nagyobb, *egyengetettnek*, ha ez 0,1 ~ 0,05 mm közt mozog. *Simított* a felület akkor, ha egyenlőtlensége: 0,05 ~ 0,01 mm, végre a 0,01 ~ 0,005 mm egyenlőtlenségű felületet *csiszoltnak* nevezzük.

Az egyengetett felülettel akkor elégszünk meg, ha az egymásra illeszkedő részek mozdulatlanok és ha kicserélhetőségükről nem kell gondoskodnunk, ellenben, ha a géprészek kicserélhetőségére is súlyt fektetünk, simított felületekkel látjuk el azokat. Simításhoz leginkább marókat használunk. Forgácsoló gépekkel a simításhoz kisebb egyenlőtlenségi fokot azért nem tudunk elérni, mert a mesterséges élekkel bíró szerszámokkal a tárgyról 0,01 mm-nél kisebb forgácsot nem szelhetünk. Forgó mozgást végző elempárok között azonban a simított felületek nem megfelelőek. Ily géprészek között az egyenlőtlenségnek a 0,008 ~ 0,005 mm határok

között kell mozognia; ezt a kis egyenlőtlenséget csak csiszoló- vagy koptató-szerszámokkal állíthatjuk elő. Ezeknél ugyanis az éleket alkotó szemcsék nagy része tompa szög alatt hajlik s így legfeljebb kapar, de leginkább lenyomja a kiálló részeket s ezzel az egyenlőtlenséget csökkenti.



134. ábra.
A nagyoló szerszám.

240. A leválasztandó réteg vastagsága kovácsolt árúnál, ha ez alakverőben sajtoltatott, 2 ~ 5 mm, ha pedig csak pörölyökkel munkáltatott meg, 5 ~ 25 mm.; öntött árúnál pedig az eltávolítandó réteg a tárgy méretéhez, helyesebben mondva, a tárgy falvastagságához képest 5 ~ 15 mm.

szokott lenni. Ily vastag réteget azonban, amint már említettük, egyszerre azért nem szelhetünk le, mert a megmunkált felület roppant egyenlőtlené válnék s az erőszükséglet is túlságosan nagy volna.



135. ábra.
A nagyolt felület.

Ez okból a rideg anyagokat a V élű karcoló-szerszámmal olyképpen forgácsoljuk, amint azt a 134. I. és a 135. I. ábra mutatja, a szívós és képlékeny anyagokat pedig egyenes élű szerszámmal úgy, hogy ennek éle a 134. II. és

a 135. II. ábra szerint a megmunkált felülethez képest ϑ hegyesszög alatt hajoljon. Ez utóbbi elrendezésnél a mellékmozgások és a forgács δ és b méretei között a következő geometriai összefüggés áll fenn:

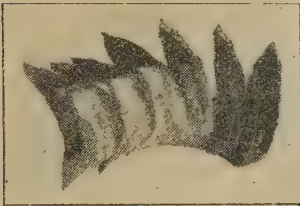
$$\left. \begin{aligned} b &= \delta_v \frac{1}{\sin \vartheta} \text{ és } \delta = \delta_v \sin \vartheta, \\ \text{a forgács keresztmetszete tehát:} \\ \Delta &= b \cdot \delta = \delta_v^2 \end{aligned} \right\} \quad (220.)$$

A z_1 tényezőt meghatározó n érték pedig a 124. képlet szerint:

$$n = \frac{b}{2\delta} = \frac{\delta_v}{\delta_\tau} \frac{1}{2 \sin^2 \vartheta}. \quad (221.)$$

E képlet szerint n nemcsak $\left(\frac{\delta_v}{\delta_\tau}\right)$ növekedtével nő, hanem ϑ $\searrow$ kisebbedésével is.

Nagyobb $\sqrt{z_1}$ tényező egyrészt káros, mert a szerszám erőszükségletét növeli és az él kopását gyorsítja, de másrészt előnyös, mert a hűtőfelület $\frac{b}{\delta}$ viszony növekedtével nő; mindaddig tehát, amíg a felület növekedésével járó jobb hűtés több meleget képes elvezetni, mint amennyi $\sqrt{z_1}$ folytán keletkezik, a δ kisebbedése és a b növelése előnyös. Kísérletek szerint ennek eleget teszünk, ha $\sqrt{z_1} \leq 1,22$, ez pedig akkor következik be, ha $n \leq 5$. Ámde $n = 5$ esetben a 221. képlet szerint adott δ_v beállítás mellett az előretolás minimuma már meg van határozva, ez t. i.



$$\left. \begin{aligned} \delta_\tau &= \delta_v \frac{1}{10 \cdot \sin^2 \vartheta}, \\ \delta &= \delta_v \frac{1}{10 \sin \vartheta}, \end{aligned} \right\} \quad (222.)$$

136. ábra.

Nagyolt kovácsvas forgács.

E képlet szerint, ha $\vartheta = 30^\circ$, $\delta_\tau = 0,4 \delta_v$ és $\delta = 0,2 \delta_v$, ha pedig $\vartheta = 45^\circ$, $\delta_\tau = 0,2 \delta_v$ és $\delta = 0,14$, s ha $\vartheta = 60^\circ$, akkor $\delta_\tau = 0,132 \delta_v$ és $\delta = 0,12 \delta_v$.

Minthogy pedig az egyenlőtlenség δ -val arányos, ezért δ értékének csökkentése céljából a ϑ szöget $45^\circ \sim 60^\circ$ közöttinek vesszük, ekkor ugyanis $\delta_\tau = (0,20 \sim 0,13) \delta_v$. Az általános részben láttuk, hogy a forgács bereped; a nagyolt forgács alakját a 136. ábra mutatja, a nagyoló erő hullámzását pedig a 137. ábra.

Az erőnek e hullámozása rezgéseket okoz, melyek főleg akkor károsak, ha a hullámok periodusai harmonikusak a gép önrezgésének periodusaival. E káros rezgések csökkenthetők, ha az előretolás nagyságát változtatjuk és ha a szerszámgép vezetékeit holt mozgásoktól mentesítjük. Ez utóbbi célból esztergáknál a szerszámtartó szánt erősre kell méreteznünk s a vezetékeknek, valamint a forgásban levő tengelyeknek csapágyaiban való pontos illeszkedésről gondoskodnunk.

Rideg anyagoknál, minthogy a nagy előretolással járó nagy forgácskeresztmetszet erős rezgéseket okoz, ϑ szöget $60 \sim 70^\circ$ közöttinek vesszük. Az V alakú élek legömbölyítésének sugarát $\rho = 0,3 \delta_v$ -ra vesszük, az egyenes élű nagyoló-szerszám sarkának tompítását pedig $\rho = 0,3 \delta_\tau$ -mal készítjük.

γ) A nagyoló-szerszám erőszükséglete, anyaga, alakja és sebessége.

241. A forgácsoló erő nagyságát a 133/a., 133/b. képletek, a karcolóét pedig a 140. s 140/a. számúak jelzik. Ámde a nagyolás a karcólástól csak abban különbözik, hogy annál a forgácsot csak egy oldalról kell lenyírni, miért is erőképletét a 140. képlethez képest úgy módosítjuk, hogy a nagy zárójelben levő második tagnak csak felét vesszük számításba és mert szívós anyagok nagyolásánál hegyes metszőszögű szerszámot is használunk, az erő képletébe a $\gamma < \beta$ függvényét jelző tag ép úgy beállítandó, amint azt a forgácsolásnál tettük. Ez alapon szívós anyagokra vonatkozólag az erő így fejezhető ki:

$$Q_{max} = \Delta \cdot \sqrt{z_b} q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} (1 + f tg^2 \beta) \frac{1 - ctg \gamma ctg \beta}{\sin^2 \gamma} \cdot \left(1 + \frac{\delta}{3 b tg \beta}\right) + 0,66 \delta^2 q_e \sin^2 \beta \frac{1 + \lambda_{max}}{1 + \lambda_e}. \quad (223.)$$

és rideg anyagokra:

$$Q_{max} = \Delta \sqrt{z_b} q_t \sqrt{1 + \lambda_{max}} (1 + f tg^2 \beta) \frac{1 - ctg \gamma \cdot ctg \beta}{\sin^2 \gamma} \cdot \left(1 + \frac{\delta}{3 b tg \beta}\right) + 0,66 \delta^2 q_t \sin^2 \beta. \quad (223/a.)$$

E képletekben $f = 0,1$, $z_b = \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n}}$ és n értéke a 221.

képlet szerint: $n = \frac{\delta_v}{\delta_e} \frac{1}{2 \sin^2 \beta}$.

Hogy a nagyoló erőre levezetett képleteink használhatóságát ellenőrizhessük, többféle anyaggal kísérleteztünk s mindenikről különböző vastagságú forgácsot szeltünk le.

Kísérleteink eredményét a XXXII. táblázatba foglaltuk, az erő változását pedig a 137. ábrával mutatjuk be. Ez ábrából kitűnik, hogy öntött vas (lásd a 137. 3. ábrát) nagyolásánál az erő kezdetben zérusra is leszáll, mert a forgács egyszerre lepattan, később azonban szabályosan hullámozik. A táblázatban éppen ezért e hullámvölgyek és hullámhegyek határértékeit közöljük; minthogy ez értékekkel a számított értékek jól egyeznek, bebizonyítottunk látjuk, hogy képletünk az öntött vasra vonatkozólag helyesen fejezi ki az erő függvényét.

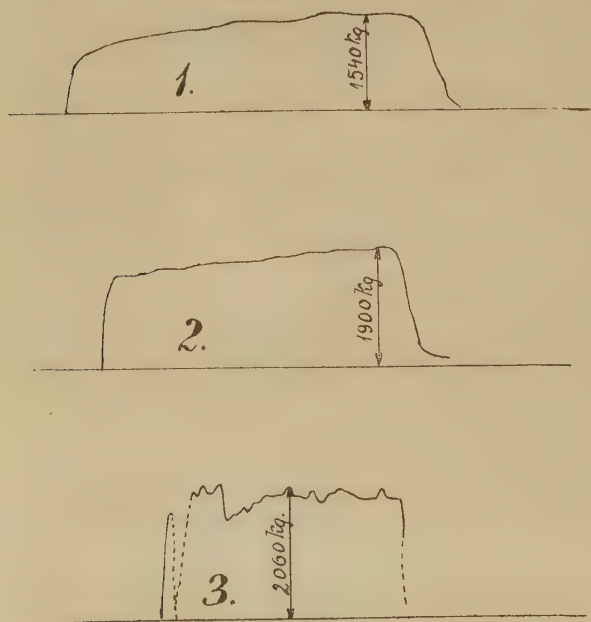
Szívós anyagok nagyolásánál az erő változása (lásd a 137. 1. és 2. ábrát) eltér az öntött vasétól. A nagyolás kezdetétől egészen a szívósság határáig az erő szabályosan növekedik, ezentúl pedig, mert a forgács csak fokozatosan reped (lásd a 136. ábrát), hullámzó értéket vesz fel; e hullámok határértékei azonban nem állandók, hanem folyton növekedők.

XXXII. táblázat.

Anyag száma és jellemzői	A szerszám adatai	δ_v mm	δ_τ mm	Δ mm ²	$\varnothing$ mm	b mm	$q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}}$	$\sqrt{z_b}$	$1 + \frac{\delta}{3b \operatorname{tg} \beta}$	$\frac{1 - \operatorname{ctg} \beta \operatorname{ctg} \gamma}{\sin^2 \gamma}$	Q_{max} kg	
											számított	kísérleti
186. sz. $q_e = 49$ $q_{max} = 67$ $\lambda_e = 0,215$ $\lambda_{max} = 1,00$ $\operatorname{tg}^2 \beta = 1,22$, $\sin^2 \beta = 0,55$, $f = 0,1$ $1 + f \operatorname{tg}^2 \beta = 1,122$	$\gamma = 70^\circ$ $\varnothing = 43^\circ$	5,5	3,4	18,7	2,31	8,1	94,6	1,04	1,086	0,755	1790	1500 ~ 1820
		4,8	2	9,6	1,36	7,05	94,6	1,09	1,058	0,755	870	710 ~ 965
		4,8	0,8	3,85	0,54	7,05	94,6	1,28	1,0235	0,755	415	424 ~ 550
251. sz. $q_e = 51$ $q_{max} = 67,4$ $\lambda_e = 0,21$ $\lambda_{max} = 0,90$ $\operatorname{tg}^2 \beta = 1,3$, $\sin^2 \beta = 0,565$, $f = 0,1$ $1 + f \operatorname{tg}^2 \beta = 1,13$	$\gamma = 70^\circ$ $\varnothing = 45^\circ$	5,3	2,7	14,3	1,92	7,45	93,0	1,05	1,075	0,770	1420	1100 ~ 1540
		5,3	2,0	10,6	1,42	7,45	93,0	1,1	1,055	0,77	1060	990 ~ 1330
		4,3	2,8	12,0	2	6,05	97,5	1,025	1,097	0,77	1254	1060 ~ 1500
252. sz. $q_e = 55,3$ $q_{max} = 75$ $\lambda_e = 0,20$ $\lambda_{max} = 0,70$ $\operatorname{tg}^2 \beta = 1,31$, $\sin^2 \beta = 0,565$, $f = 0,1$ $1 + f \operatorname{tg}^2 \beta = 1,131$	$\gamma = 70^\circ$ $\varnothing = 45^\circ$	4,3	2,0	8,6	1,42	6,05	97,5	1,063	1,070	0,77	887	760 ~ 1150
		5,7	3,4	19,4	2,54	8,06	108,8	1,03	1,093	0,76	2175	1570 ~ 1900
		5,0	2,2	11,0	1,56	7	108,8	1,07	1,067	0,76	1270	1090 ~ 1430
264. sz. $q_e = 62,9$ $q_{max} = 83,6$ $\lambda_e = 0,195$ $\lambda_{max} = 0,7$ $\operatorname{tg}^2 \beta = 1,23$, $\sin^2 \beta = 0,55$, $f = 0,1$ $1 + f \operatorname{tg}^2 \beta = 1,123$	$\gamma = 70^\circ$ $\varnothing = 45^\circ$	5,3	2,05	10,9	1,45	7,5	108,8	1,09	1,058	0,76	1228	1100 ~ 1400
		5,0	1,6	8,0	1,14	7	108,8	1,12	1,049	0,76	928	665 ~ 920
		4,8	1,15	5,52	0,81	6,8	108,8	1,2	1,036	0,76	656	495 ~ 660
316. sz. Öntött vas. $q_t = 61,2$, $\lambda_{max} = 0$ $\operatorname{tg}^2 \beta = 3,6$, $\sin^2 \beta = 0,175$, $f = 0,1$ $1 + f \operatorname{tg}^2 \beta = 1,36$	$\gamma = 90^\circ$ $\varnothing = 61^\circ$	6,0	3,2	19,2	2,8	6,85	61,2	1,01	1,072	1,0	1975	1840 ~ 2060
		5,7	2,4	13,7	2,1	6,52	61,2	1,03	1,056	1,0	1370	1150 ~ 1330
		5,7	1,6	9,13	1,4	6,52	61,2	1,08	1,038	1,0	911	945 ~ 1040

A táblázatban ez okból a hullámhegyek kezdeti és végső értékeit adtuk meg. Minthogy számított értékeink a kísérletekkel jól megegyeznek, bebizonyítottunk véljük, hogy képletünk a szívós anyagokra vonatkozólag is helyesen fejezi ki az erő függvényét.

Kísérleteink eredményeként kimondhatjuk, hogy az erő nagysága egy bizonyos alakú forgács nagyolásánál csupán az anyagnak a $q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}}$ szorzattal kifejezett tulajdonságától függ, egy adott anyag nagyolásánál



137. ábra.

A nagyoló-erő változásának ábrái.

1. A 251. számú folyasztott vas erőábrája,
 $\delta_v = 5,3$ és $\delta_\tau = 2,17$ esetén.
2. A 264. számú folyasztott vas erőábrája,
 $\delta_v = 5,8$ és $\delta_\tau = 3,6$ esetén.
3. A 316. számú öntött vas erőábrája,
 $\delta_v = 6$ és $\delta_\tau = 3,2$ esetén.

pedig egyedül a $\Delta \sqrt{z_b}$ szorzattól. Minthogy TAYLOR az erő és a forgács méretei között igen komplikált gyakorlati képletre jutott, kísérleteinknél a $\sqrt{z_b}$ értékét nagy határok között változtattuk s mert a táblázatból kitűnik, hogy az erő számított értékei $\sqrt{z_b}$ -nek mindenféle értéke esetén is a kísérletekkel megegyeznek, bebizonyítottunk véljük, hogy az erőt a forgács méretei az általunk megadott egyszerű függvény szerint befolyásolják.

242. A nagyoló erő értékét ismerve, ennek munkáját is meghatározhatjuk.

A szükséges munkamenység ugyanis, ha az erő mpkenti útját v_1 -el jelöljük, a következő:

$$M = Q_{max} v_1.$$

Minthogy pedig az összes mechanikai munka melegséggé alakul át, a mpként képződő melegmenység képlete:

$$A'_c = \frac{Q_{max} v_1}{427} = \frac{\Delta v_1 \sqrt{z_b}}{427} q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} (1 + f \operatorname{tg}^2 \beta) \frac{1 - \operatorname{ctg} \gamma \cdot \operatorname{ctg} \beta}{\sin^2 \gamma} \cdot \left(1 + \frac{\delta}{3 b \operatorname{tg} \beta}\right) + 0,66 \frac{v_1}{427} \delta^2 q_{max} \sin^2 \beta \frac{1 + \lambda_{max}}{1 + \lambda_e}. \quad (224.)$$

E melegmenység egy részét a környező közeg elvonja, megmaradt része azonban növeli a forgács hőfokát és közlés folytán az egész megmunkálandó tárgyat, sőt a szerszámét is. A lehűtést fokozhatjuk, ha a

forgácsnak azt a részét, amelyben az alakváltozás legnagyobb (lásd a 134. III. ábrát), vízzel bőven locsoljuk. E célre Taylor szerint 50×50 mm vastag nyelű szerszámra percenként 12 liter vizet kell folytatni. A vizet szódával vagy szappannal lúgossá tesszük, hogy a szerszám és a megmunkálendő vastárgy meg ne rozsdásodjék.

Minthogy adott hűtési viszonyok között a felmelegedés $\Delta v_1 / \sqrt{z_1}$ -nek a függvénye (l. a 224. képletet), a felmelegedés mértékét a forgács előretolásával és a fősebesség megváltoztatásával módunkban áll úgy szabályozni, hogy az a szerszám és a megmunkálendő tárgy anyagára káros hatást ne fejtessen ki.

243. A forgácsoló szerszámokat ez idő szerint szén-acélból, önedző-acélból és króm-wolfram-vasötvözetekből szokás készíteni. A melegségnek hatását e három ötvözetre külön-külön fogjuk tárgyalni.

A szén-acélokból e célra a $0,9 \sim 1,0\%$ C tartalmúakat használják, mert ezek jól kovácsolhatók és jól edzhetők. Az I. kötetben közöltek szerint ez ötvözeteket edzés céljából a kritikus hőfokon túl $50 \sim 100^\circ$ -kal kell felhevítenünk, ezután vízbe mártjuk, vagy erős légáramban tartjuk addig, míg 200° C-ra lehűltek. A vízben edzett szerszámot megeresztjük, mely célból 315° C-ra felhevítjük s lassan lehűtjük. Minthogy az ily acélok martensitje (felbomlott másodfokú oldat) már 200° C fölélt csoportosúl, vagyis kilágyul, azért e szerszám használata esetén a forgácsnak 200° C-on túl nem szabad felmelegednie. Ez az oka annak, hogy ily szerszámokkal való forgácsolásánál a főmozgás sebességét (v_1) és a forgács keresztmetszetét sokkal kisebbre vesszük, mint a többi fajták használatánál.

Az önedző acélokkal a forgácsolást kedvezőbb viszonyok között végezhetjük, mert ezek martensites és cementites szövetszerkezetűek, miért is keményebbek és kevésbé kopnak, tehát tartósabbak, mint a szénacélok. Minthogy ennek az ötvözetnek martensitje tartós hevítéskor szintén csoportosul, azért ezzel sem szabad oly gyorsan forgácsolni, hogy a forgács izzóvá váljék. Megjegyezzük, hogy az önedző acélok legjelesebbje a »Mushet«-acél ($W = 5,441\%$, $Cr = 0,398\%$, $C = 2,15\%$, $Mn = 0,578\%$, $Si = 1,084\%$), de ez az ötvözet cementit-tartalmánál fogva nehezen kovácsolható.

A legkedvezőbb viszonyok között forgácsolhatunk a TAYLOR-féle gyors-forgácsoló acéllal, amelynek legkedvezőbb összetétele: $W = 18,91\%$, $Cr = 5,47\%$, $C = 0,67\%$, $Mn = 0,11\%$, $Va = 0,29\%$, $Si = 0,043\%$. Ez ötvözet csekély szén- és mangántartalmánál fogva szécementitet nem tartalmaz, nagymennyiségű volframtartalmánál fogva vas-volfram és szén-volfram cementites szerkezetű, de mert e cementitek a kevés króm által alkotott perlitiek közé vannak ágyazva, azért jól kovácsolható és mert e cementitek magas hőfokon stabilak, kopás ellen ellenálló. Az ötvözethez adagolt kevés vanádium a kész szerszámacélban már ki nem mutatható,

ez tehát redukáló hatást fejt ki és csökkenti a nitrogéngáz elnyelését, miért is növeli a szemcseközötti kohéziót.

244. E gyorsforgácsoló acél TAYLOR szerint*) a következőképpen kezelendő: A szerszámacélok négyzet és 1:1,5 oldalakkal bíró négyszög-keresztmetszetű rudak alakjában kerülnek a kereskedelembe. Szilárdsági szempontból kedvezőbb a négyszög-keresztmetszet, de a kés befogása szempontjából kedvezőtlenebb. A rudakat oly darabokra vágják szét, amelyek hosszúsága a keresztmetszet magassági méretének tízszerese. Ezekből 4 ~ 6 darabot kell egyszerre a kokszzsal fűtött kovácstűzbe tennünk, de úgy, hogy hosszuk fele tűzben legyen és gondot fordítunk arra, hogy 700° C-ig izzításuk igen lassan menjen végbe, mert különben rajtuk króm- és wolframtartalmuk folytán hajszálrepedések támadnak. E kívánt lassú izzítást azáltal érjük el, hogy a darabokat először csak a kovácstűz szélére helyezzük be s csak fokozatosan toljuk beljebb, miközben meg is forgatjuk őket. Amint a legbelsőbb fekvésű darab elérte a 700° C-t, azt élénk koksztűzbe tesszük s gyorsan 980 ~ 1040°-ra hevítjük fel. Ily állapotban az izzó darabot az üllőre erősítjük olyképen, hogy vége mintegy 60 mm-rel kiálljon, ezt közel 120° < alatt meghajlítjuk (l. 134. V/a. ábrát), azután alakmásba tesszük s pontosabban alakítjuk, végre kovácsvágó segítségével levágjuk az elhelyezés szögének és metszőszögének megfelelő fölös darabokat (l. a 134. V/b. ábrát); mindezt izzó állapotban végezzük, mert az ötvözet hidegen cementittartalmánál fogva könnyen reped.

Miután kovácsolással megadtuk a nagyoló szerszámnak a kívánt alakot, élét edzeni kell. Ecélből lassan felhevítjük 700° C-ra, azaz cseresznyevörös izzásig, ezután pedig élénk koksztűzbe tesszük, hogy 1,5, de legfeljebb 3 perc alatt a *liquidus* hőfokát érje el, amelynél megömleni kezd, de erről a hőfokról 850° C-ra vízbemártással, légárammal, vagy ólomfürdőben gyorsan, 850° C-ról pedig lassan hűtjük le. A 700° C-ról való felhevítést és a 850° C-ra való lehűtést azért kell oly gyorsan végeznünk, mert ez ötvözet 850 ~ 935° C között hamar oxidálódik, vagyis elég, aminek folytán az egész keresztmetszeten az anyag hasznavehetetlenné válik, holott, ha e műveleteket gyorsan végezzük, az elégés csak 2 ~ 3 mm mélységig hatol s ezt a hibás réteget később leköszörüljük. Az edzett szerszámot még megeresztjük, e célból 600 ~ 650° C-ra felmelegítjük (pl. azáltal, hogy 625° C fokú ólomfürdőbe mártjuk), azután száraz helyen lassan lehűtjük.

Ebben az állapotban a szerszám anyaga lágyabb ugyan, mint az edzett szénacél — a reszelő fogja — de mert szívós, azért a kopásnak jobban ellenáll. A megeresztett szerszámot végre 24 ~ 30 finomsági számú korundkoronggal köszörüljük a kívánt alakra, miközben vízzel

bőségesen locsoljuk, nehogy a szerszám 670°C -ra melegedjék, mert ekkor éle oxidálódik és hasznavehetetlenné válik. Kösörüléssel a szerszám éléből mintegy 5 mm vastag réteg távolítandó el. Tömeggyártásnál a szerszámok pontos méretre való kösörülését alakos vezeték (sablon) segítségével végzik.

A felmelegedést eddig a szerszám szempontjából tárgyaltuk. Ez alapon arra az eredményre jutottunk, hogy a szénacélból készült szerszámokat nem szabad 300°C -on túl felmelegíteni. A tárgy szempontjából még ezt a hőfokot sem engedhetjük meg, mert a vasfajták keménysége $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ között nő, ezért a lehűtést oly hatályosan kell elvégeznünk, hogy a forgács 100°C -on túl fel ne melegedjék, vagy pedig e célból a forgács méretét és a főmozgás sebességét megfelelően csökkentjük.

Gyors acélok használatakor a szerszám felmelegedése, amint láttuk, 650°C -ig fokozható, ez a nagy hőfok a tárgyra is kedvező hatású, mert vastárgyak keménysége 600°C -nál az eredeti keménységnek 0,65-a, 650°C -nál pedig annak csak 0,45-a; ez az oka annak, hogy izzásba jövő forgács esetén a fősebességet, sőt a forgács keresztmetszetét is lényegesen fokozhatjuk.

245. Az egyenes élű nagyoló-szerszám legcélszerűbb szögeit TAYLOR kísérletileg határozta meg. Adatait a XXXIII. táblázatba foglaltuk.

XXXIII. táblázat.

		Acélnál	Kovács- vasnál	Öntött- vasnál
Elhelyezési szög	$\alpha =$	$5^{\circ} \sim 6^{\circ}$	$6^{\circ} \sim 7^{\circ}$	$7^{\circ} \sim 8^{\circ}$
Metszőszög	$\gamma =$	74°	68°	$90^{\circ} \sim 80^{\circ}$
Ékszög	$\gamma - \alpha =$	68°	61°	$82^{\circ} \sim 72^{\circ}$
A mellső lapnak a haladás-irány normálisával alkotott szöge	$\varepsilon_1 =$	16°	22°	$0^{\circ} \sim 10^{\circ}$
Az él ferdesége	$\psi =$	20°	22°	—
Az él hajlásszöge a megmunkált felülethez képest	$\vartheta =$	60°	50°	70°

Az él legömbölyödésének sugara a 240. pont szerint egyenes élnél: $\rho = 0,3 \delta_r$, V alakú élnél pedig: $\rho = 0,3 \delta_v$.

A metszőszög annál kisebbre veendő, minél szívósabb a forgácsolandó tárgy anyaga. TAYLOR megfigyelése szerint, ha lágy kovácsvasat 74° -os metszőszögű szerszámmal forgácsolunk, a forgács a szerszám élére illeszkedik, sőt az élhez heged, míg 68° -os metszőszögnél ez a káros jelenség nem áll elő; további megfigyelése szerint $\gamma = 74^{\circ}$ esetén a kovácsvas tárgy mélyebbre reped be, mint $\gamma = 68^{\circ}$ -nál. TAYLOR e megfigyelései teljesen összhangzatban vannak a forgácsolás általános

részében levont következtetéseinkkel. Nagyobb metszőszögű szerszámnál ugyanis a húzott réteg vastagabb, tehát a berepedés is mélyebbre hatolhat.

TAYLOR a szerszám kopásának módját és a kopott szerszám használhatóságának határát is megfigyelte. Eszerint a szénacélból készült szerszám éle eltompul (l. a 134. VI. ábrát) s ily állapotban a forgácsból δ_e vastag réteget lenyom, lesímít, s mert ez a művelet nagyobb surlódással és felmelegedéssel jár a forgácsolásnál, a kopott élnek először mellső lapja, azután hátsó lapja erősen felmelegszik s futtatási színt nyer. Ha ily viszonyok között a forgácsolást folytatjuk, a forgács a mellső és hátsó laphoz heged, miért is mind a kettő érdekessé válik s végül a szerszám eltörik. Hogy a szerszám törését elhárítsuk, a forgácsolást csak addig folytatjuk, amíg az él tompulása, azaz a forgács vastagságának csökkenése a 134. VII. ábrán c -vel jelzett mércével kimutathatóvá nem válik. Ennek beállta után a kés újra köszörülendő.

Gyorsforgácsoló acélból készült szerszámok éle alig tompul; mellső lapjuk azonban vagy kikopik (l. a 134. VIII/a. ábrát), vagy a forgács hozzáheged (l. a 134. VIII/b. ábrát) s a szerszám így érdekessé válik. Amint a jelenség beáll, a forgács erősen duzzad s ekkor a berepedés a forgácsoló sík alá irányul, vagyis a tárgy beszakad.

246. TAYLOR észleletei szerint a forgácsoló szerszámok használhatóságának időtartama (üzemtartama) a főmozgás sebességétől, a hűtés hatályától, a forgácsoló anyag sajátosságától és végül a forgács keresztmetszetének nagyságától függ. Hogy az egyes tényezők befolyását meghatározhassa, kísérleteinél ő csak az egyik tényezőt vette változóznak, a többit pedig állandónak. Ily körülmények között megállapította a szerszám használhatósága idejének (i_{perc}) a fősebességhez való viszonyát s erre nézve a következő összefüggést találta:

$$v_1 \text{ m/perc} = \frac{27,4}{i_{perc}^{1,8}}, \quad (225.)$$

ebből következik, hogy:

$$v_1 i_1^{1,8} = v_n i_n^{1,8}. \quad (225/a.)$$

TAYLOR azt a sebességet vette alapul, amely mellett a szerszám $i_n = 20$ perc alatt ment tönkre, s ezt *normálsebességnek* nevezte. A v_n normálsebesség ismerete esetén ugyanis a 225/a. képlettel bármely más üzemtartamnak megfelelő sebességet meghatározhatunk, mert:

$$v_1 = v_n \left(\frac{20}{i_1} \right)^{1,8} = v_n \cdot A_1. \quad (225/b.)$$

Gyári munkákhoz TAYLOR azonban nem azt a sebességet ajánlja, amelynél 20 perc alatt megy tönkre a szerszám, hanem azt, amelynél a forgácsolás a leggazdaságosabb. Hogy ezt az időt kiszámíthassa, figyelembe vette a szerszám kovácsolásának, köszörülésének és a szerszám-

gépbe való befogásának költségeit és ezek összegét elosztotta a szerszámgépnél dolgozó munkás óradíjával, hogy e költségeket az idő függvényében kifejezhesse. E hányadost i_k -val jelöljük s *káros időnek* nevezzük. Ha az i_1 idő alatt elforgácsolt anyag G súlyát az $(i_1 + i_k)$ -val, vagyis a hasznos és káros idő összegével elosztjuk, a fajlagos forgács súlyát (g) kapjuk. Leggazdaságosabbnak TAYLOR azt az időt (i_1) tartja, amelynél a fajlagos forgács súlya: $g = \frac{G}{i_1 + i_k}$ a maximumot¹⁾ éri el.

Kísérletei szerint a g értéke akkor éri el maximumát, ha $i_1 = 10 i_k$. A különböző nagyságú kések kovácsolásának, köszörülésének és beállításának költségeit TAYLOR kísérletileg határozta meg. Adatait a XXXIV. táblázatba foglaltuk. Ezek alapján kiszámítottuk a $225/b$. képletben előforduló $A_1 = \left(\frac{20}{i_1}\right)^{1/8}$ tényező értékét s ezt is a táblázatba soroztuk.

XXXIV. táblázat.

A szerszám nyelének keresztmetszete mm-ben	12,8/18,8	16,6/25	18,8/23	21,8/34	25/37,5	31/46,8	37,5/56	42,8/68,4	50/75
Az i_k percekben ...	7,7	7,0	7,7	8,2	8,7	10,2	12,3	15,0	15,8
A gazdaságos használati idő: $i_1 = 10 i_k$ percekben	77	70	77	82	87	102	123	150	158
$A_1 = \left(\frac{20}{i_1}\right)^{1/8}$...	0,854	0,866	0,854	0,843	0,842	0,825	0,807	0,788	0,780

E táblázatból kitűnik, hogy az A_1 tényező középértékben 0,830, tehát hogy

$$v_1 = 0,830 v_n, \quad (225/c)$$

amiből következik, hogy a szerszám üzemtartama:

$$i_1 = 90 \text{ perc} = 1\frac{1}{2} \text{ óra.}$$

¹⁾ TAYLOR számítással is meghatározta a $g = \frac{G}{i_1 + i_k}$ tört maximumát. E célból G helyett a $G = \eta i_1 v_1 = \eta \cdot i_1 v_n \left(\frac{20^{1/8}}{i_1^{1/8}}\right) = \eta_1 i_1^{7/8}$ kifejezést, i_1 helyett pedig az $i_1 = n i_k$ értéket helyettesítette a képletbe, minek folytán ez ily alakúvá vált: $g = \eta_2 \cdot \frac{n^{7/8}}{(n+1) i_k^{1/8}}$. Ezután azzal a megközelítéssel élt, hogy $i_k^{1/8}$ állandó, vagyis hogy $\eta \frac{1}{i_k^{1/8}} = \eta_3$. Ezzel a helyettesítéssel egyenlete ily alakúvá vált: $g = \eta_3 \frac{n^{7/8}}{n+1}$, ennek maximumát már azután a $\frac{dg}{dn} = 0$ képlet alapján kiszámíthatta s ily módon arra az eredményre jutott, hogy a maximumnál: $i_1 = 7 i_k$.

Hogy azonban a leggazdaságosabb sebesség (v_1) értékét a 225/b. képlettel kiszámíthassuk, a v_n normálsebességnek számértékére van szükségünk. Ez értéket TAYLOR, amint már jeleztük, különféle anyagokra és különböző vastagságú forgácsokra vonatkozólag kísérletileg határozta meg. Kísérleti adatait tanulmányozva, arra az eredményre jutottunk, hogy a normálsebesség nem a Δ -nak, hanem a $\sqrt{\Delta}$ -nak a függvénye, mert nem a $v_n \Delta$ szorzat állandó, mint az a 223/a. képlet alapján várható volt, hanem a $v_n \sqrt{\Delta}$ szorzat, vagyis egy-egy anyagnál:

$$v_n \sqrt{\Delta} = E_1 \text{ állandó.} \quad (226.)$$

Ennek a jelenségnek pedig az az oka, hogy a kopást nem a teljes mechanikai munkának megfelelő melegmennyiség befolyásolja, hanem annak csak a forgács felületén végbemenő melegelvezetéssel csökkent része. A normálsebességet jellemző E_1 tényezőt a XXXV. táblázatba foglaltuk, még pedig különböző anyagokra és szerszámacélokra vonatkozólag.

XXXV. táblázat.

A szerszám anyaga	Az E_1 szorzat értéke ($v_n m/perc$, Δmm^2)					
	kemény acél	közép- kemény acél	kov. vas, bronz, sárgaréz	kemény öntött vas	közepes öntött vas	lágú öntött vas
Gyorsforgácsoló acél	36	79,2	158,4	21,5	36,5	73
Önedző acél	9,4	20,6	41,5	5,6	9,5	19
Szén acél	5,8	12,8	25,6	3,4	5,85	11,7

Ha az e táblázatba foglalt E_1 értékeket a III. táblázatban közölt¹⁾ q_{max} értékekkel egybevetjük, kitűnik, hogy minden anyagra vonatkozólag $E_1 q_{max}^2 = 640,000$, vagyis, hogy a normálsebesség az anyag legnagyobb keménységének négyzetével fordított viszonyban áll.

Ez alapon a gyorsforgácsoló szerszám normálsebességének képlete:

$$v_n m/perc = \frac{640000}{q_{max}^2 \cdot \sqrt{\Delta}}, \quad (226/a.)$$

a leggazdaságosabb sebességé pedig:

$$v_1 m/perc = \frac{640000}{q_{max}^2 \cdot \sqrt{\Delta}} \cdot 0,83 = \frac{530000}{q_{max}^2 \cdot \sqrt{\Delta}}, \quad (227.)$$

¹⁾ A III. táblázat szerint kemény acélnál: $q_{max} = 127 \text{ kg/mm}^2$, közepesnél 90 kg/mm^2 és kovácsvasnál: 60 kg/mm^2 ; kemény nyersvasnál: $q_{max} = 90 \text{ kg/mm}^2$, közepesnél: 75 kg/mm^2 , lágú nyersvasnál: 45 kg/mm^2 .

ha t. i. szívós anyagokat forgácsolunk, míg rideg anyagoknál, mert ekkor az erő nagyon ingadozik, az állandó csak félakkora értékű.

Rideg anyagoknak gyorsforgácsoló szerszámmal való esztergálásánál a leggazdaságosabb sebesség tehát:

$$v_{1 \text{ m/perc}} = \frac{265000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \quad (227/a.$$

Szénacélból készült szerszám használata esetén szívós anyagok forgácsolásának leggazdaságosabb sebesség képlete:

$$v_{1 \text{ m/perc}} = \frac{86000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \quad \text{vagy} \quad v_{1 \text{ mm/sec}} = \frac{1,433000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \quad (228.$$

és rideg anyagok forgácsolásánál:

$$v_{1 \text{ m/perc}} = \frac{43000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \quad \text{vagy} \quad v_{1 \text{ mm/sec}} = \frac{716500}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \quad (228/a.$$

A 227. s 228. képletek vízűtés nélküli esztergálásra vonatkoznak. Vízűtésnél a sebességet TAYLOR kísérletei szerint gyorsforgácsoló acélnál 40%-kal, szénacélknál pedig 25%-kal lehet növelni.

Ennélfogva esztergálásnál és fűrásnál vízűtés esetén, gyorsforgácsoló szerszám használatakor, szívós anyagokra a gazdaságos sebességképlet:

$$\left. \begin{aligned} v_{1 \text{ m/perc}} &= \frac{742000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \\ v_{1 \text{ m/perc}} &= \frac{371000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \end{aligned} \right\} \quad \text{és rideg anyagokra:} \quad (227/b.$$

Szén-acélokkal való forgácsolásnál, ha az anyag szívós, a gazdaságos sebesség:

$$\left. \begin{aligned} v_{1 \text{ mm/sec}} &= \frac{1790000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \\ v_{1 \text{ mm/sec}} &= \frac{895000}{q_{\text{max}}^2 \sqrt{\Delta}} \end{aligned} \right\} \quad \text{ha az anyag rideg:} \quad (228/b.$$

Gyalúk és marók használatakor, mert ilyenkor az élek csak időszakosan érintkeznek a tárggyal, vagyis mert ekkor a hűtés hatályosabb, a fősebesség az előbb megadott értékekhez képest 25 ~ 35%-kal növelhető.

Hogy a fősebesség nagyságáról némi képet nyujsunk, $\Delta = 10 \text{ mm}^2$ esetére kiszámítottuk annak a különböző anyagokra vonatkozó értékeit és ezeket a XXXVI. táblázatba foglaltuk.

XXXVI. táblázat.

A forgácsolás faja	q_{max} kg/mm ²	1½ órás üzemtartamú szerszám (v_1) fősebessége		
		Gyorsforgá- csoló acél m/perc	Szén-acél	
			m/perc	mm/sec
Esztergálás és fúrás bő vízűtéssel	127	15,8	2,2	37
	90	28	4,0	66
	63	58	8,4	140
Gyalulás és marás	127	20	2,8	48
	90	36	5,2	86
	63	75	11,0	180

E táblázatból kitűnik, hogy a gyorsforgácsoló acéllal majdnem hétszer akkora sebességgel dolgozhatunk, mint szén-acéllal, ép ez okból gyorsforgácsoláshoz lényegesen nagyobb elektromótorra, vagy lényegesen szélesebb hajtósíjra van szükségünk. A forgács Δ keresztmetszetét mindig az elektromotor és a szerszámgép erősségének megfelelőleg választjuk s méreteit csak addig fokozhatjuk, amíg a szerszámgépen káros rezgések nem észlelhetők. A mélyítő mellékmozgás (δ_v) és az előretolás (δ_τ) viszonyára vonatkozólag az eddig közlöttek veendőik figyelembe, t. i. hogy $\delta_\tau = \delta_v (0,13 \sim 0,2)$ legyen. Leggyakoribb mérete a δ_τ -nak esztergálásnál, gyorsforgácsoló szerszám esetén: $\delta_\tau = 0,5 \sim 5$ mm, szénacéllok-nál: $\delta_\tau = 0,11 \sim 3$ mm.

Egyengetésnél ez értékek fele, simításnál pedig ezek negyede veendő; fúróknál, maróknál s fűrészeknél az egy élre eső előretolás mértéke az esztergára közölt értékek $\frac{1}{4}$ -e. Az anyagnak a mellékmozgás ellen kifejtett ellenállása, ha éles a szerszám, az élre gyakorolt nyomás $0,1 \sim 0,2$ része, de ha éle tompa, amint ez gyorsforgácsolásnál szokott lenni, akkor ennek 100% -a.

δ) A szerszámgépek elemei.

Hogy a szerszámgépek leírását egyszerűsítsük, elsősorban az ezeket alkotó kinematikai elempárokat és az azok által megoldott feladatokat fogjuk ismertetni s csak azután térünk át a szerszámgépek leírására.

α_1) Haladó főmozgást létesítő elemek.

247. Haladó mozgást végző szerszámgépek oly kinematikai elem-párokkal szerelendők fel, amelyek a motor vagy a transzmisszió forgó

mozgását haladóvá alakítják át. Ilyenek például a fogazott rúddal kapcsolt fogazott kerék, a csavarorsó csavarhüvelyével együtt és a forgattyús mechanizmus.

Mint hogy pedig a szerszám haladó mozgásának értelmét meg kell változtatnunk, ha az a tárgy végére ért, ezért a szerszámgépeket oly elempárokkal is fel kell szerelnünk, amelyek a főtengely forgó mozgásának értelmét megváltoztatni képesek; ilyenek például az együttesen használt egyenes és a kereszttezett szíjak, vagy pedig a felváltva kapcsolt jobbra és balra forgó kerekek.

Azonban a haladó mozgást végző szerszám visszamenőben nem forgácsol; ha tehát ugyanolyan sebességgel halad visszafelé, mint a forgácsolás időszakában, akkor az időnek csak felét használja. Az idő hasznosítását fokozhatjuk, ha a visszamenés (v_2) sebességét nagyobbra vesszük a forgácsolás (v_1) sebességénél. E két sebesség

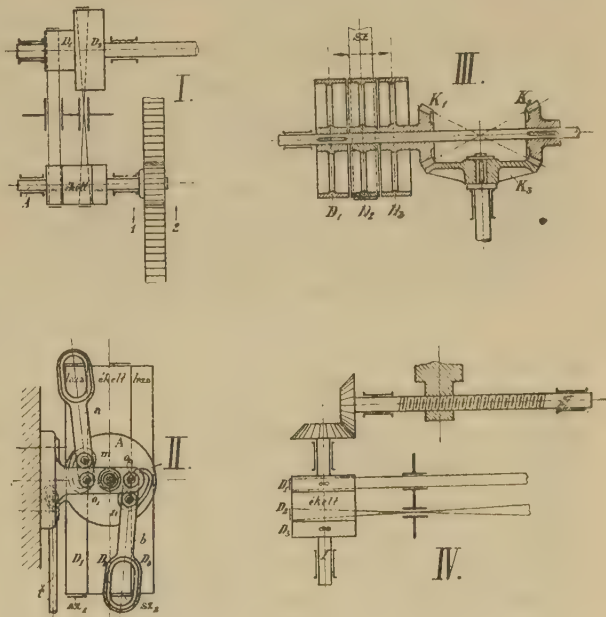
viszonya $\mu = \frac{v_2}{v_1} = 1,5 \sim 3$ közt szokott lenni. Ezt a jelzést használva, a hasznosítás foka, ha s -sel az utat és t_1 -s t_2 -vel az időt jelöljük, így fejezhető ki:

$$\eta = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{\left(\frac{s}{v_1}\right)}{\left(\frac{s}{v_1}\right) + \left(\frac{s}{v_2}\right)} = \frac{v_2}{v_1 + v_2} = \frac{\mu}{1 + \mu}. \quad (229)$$

A forgácsolás és visszamenés sebessége közötti különbséget kétféle átmérőjű szíjdobokkal, vagy különböző fogaskerékáttevésekkel érhetjük el.

A most ismertetett elemek leggyakoribb csoportosítása a következő:

248. A WITHWORTH-féle elrendezésnél (lásd a 138. I. ábrát) a közlőműre kétféle átmérőjű szíjdobot (D_1 és D_2 -t) használunk, a gép főtengelyére azonban három egyező átmérőjű szíjdobot helyezünk el, a két szélsőt lazán hagyjuk a főtengelyen, a középsőt pedig ékeljük. A közlőmű és a főtengely szíjdobjait egy egyenes és egy kereszttezett szíjjal kap-

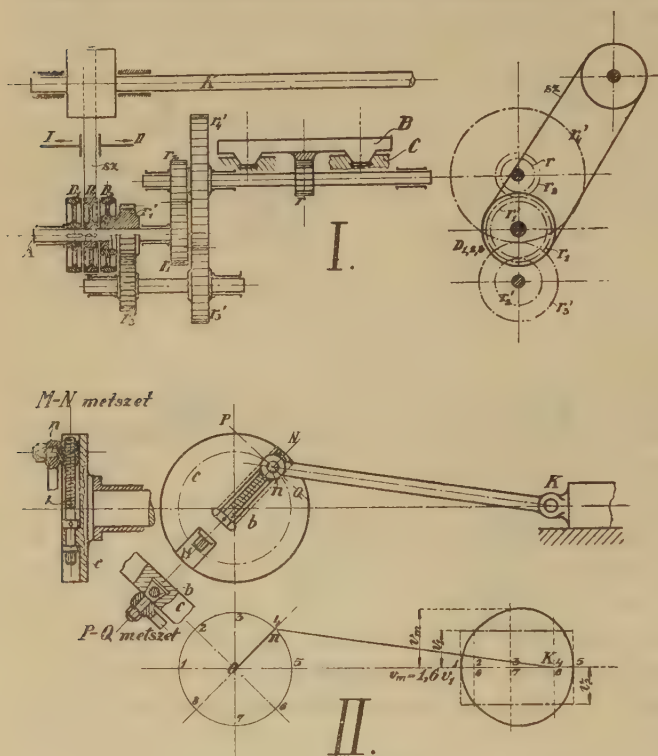


138. ábra.

Haladó mozgást létesítő gépelemek.

csoljuk össze. E szíjak egyike mindig a laza szíjdobon van, a szíjvezető azonban mindkettőt egyidejűleg mozgatja. Ha az ékelt szíjdobra az egyenes szíj jut, a főtengety egy bizonyos irányban forog, ha pedig a keresztezett kerül oda, forgása ellenkező értelmű. A tengely változó forgását a végén levő fogazott kerék a fogazott rúdra viszi át, ez tehát vagy az 1-gyel, vagy pedig a 2-vel jelzett irányban végzi haladó mozgását.

E szerkezetnél:



139. ábra.

Haladó mozgást létesítő gépelemek.

van, a forgás az r'_1 , r'_2 , r'_3 és r'_4 fogazott kerek útján jut az r kerék tengelyére, még pedig a kétszeres lassító áttevés folytán lényegesen kisebb fordulati számmal és ellenkező értelemben. Ennél a szerkezetnél:

$$\mu = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1} \text{ és mert } n_2 = n_k \frac{r'_1 r'_3}{r'_2 r'_4} \text{ és } n_1 = n_k \frac{r_1}{r_2},$$

ezért

$$\mu = \frac{r'_1 r'_3}{r'_2 r'_4} \cdot \frac{r_2}{r_1}. \quad (229/b.)$$

250. A csavar és csavarhüvely szokásos elrendezését a 138. IV. ábra mutatja. Ez elrendezésnél a közlőmű a főtengetlyel úgy van kapcsolva, amint a 138. I. ábrán. A főtengety végéről a mozgást azonban nem homlokkerék, hanem kúpkerék viszi át a csavarorsóra (II), amely jobbra

vagy balra forog, aszerint, amint az egyenes vagy a keresztezett szíj hat az ékelt szíjdobra.

Kétféle szíjjal felszerelt gépeknél, amint már említettük, mindkét szíj egyidejűleg tolandó el. Ezt a feladatot a 138. II. ábrán látott szerkezet a következőképpen oldja meg: az A tárcsát a váltakozó mozgást végző géprésszel kapcsolatban álló tolórúdak felváltva az óramutató irányában és azzal ellenkező irányban néhány fokkal elforgatják s mert e tárcsán két excentrikus kivágás van, amelyekbe az a és b szíjvezetők m és n csapjai belenyúlnak s minthogy e szíjvezetők az állványba erősített O_1 , O_2 csapok körül lengenek, az A tárcsa váltakozó irányú elforgása folytán az sz_1 és az sz_2 szíjakat egyszerre mozdtítják el.

Csavarának változó irányú forgást a 138. III. ábrán látott elrendezéssel is adhatunk. Ennél a főtengelyen három egyféle átmérőjű szíjdob van; a D_1 ékelt a K_2 kúpkeréket, a hüvelyre helyezett D_3 pedig a K_1 kúpkeréket forgatja s mert mindkét kúpkerék a csavarra ékelt K_3 kúpkerékkel áll kapcsolatban, ennek forgása aszerint, amint a mozgást a K_1 vagy a K_2 közvetíti, váltakozó irányú.

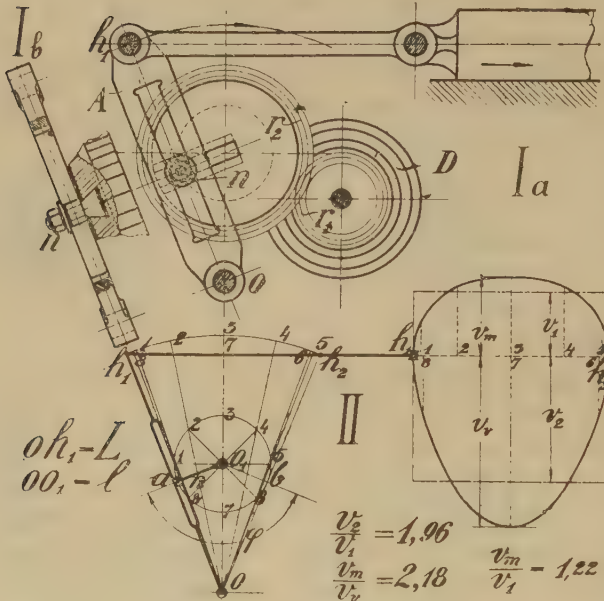
251. A forgattyús szerkezet elrendezésének lényege a 139. II. ábra szerint a következő: A forgó mozgást végző C tárcsába helyezett n forgattyúcsap k tolórúddal mozgatja azt a géprésszt, amely majdan egyenes vezetékben végzi haladó mozgását. E géprész kétszer akkora s utat tehet meg, mint amekkora a forgattyúcsap sugara (r): $s = 2r$. Hogy különböző hosszúságú felületeket kedvező viszonyok között megmunkálhassunk, a lökethossz (s) megváltoztatásáról is kell gondoskodnunk. E célból a forgattyúcsapnak kockaalakú toldatot adunk, amelyet a tárcsa sugárirányú kivágásában a b csavar segítségével változó r távolságokban helyezhetünk el. A lökethossz változtathatósága a forgattyús szerkezet előnyét alkotja, hátránya pedig az, hogy a főmozgás sebességét nagy határok között változtatja meg: a 139. II. ábrából ugyanis kitűnik, hogy a sebesség 0 -tól egy bizonyos maximumig fokozódik, azután ismét 0 -ra csökken

s hogy középértéke: $v_1 = \frac{v_{max}}{1,6}$. További hátránya ez elrendezésnek, hogy a forgácsolás és visszamenés középsebessége azonos nagyságú, holott az idő jobb hasznosítása céljából kívánatos, hogy a visszamenés sebessége nagyobb legyen. E feladatnak a himbás szerkezettel tehetünk eleget.

252. A himbás szerkezet lényege a 140. I. ábra szerint a következő: a c tárcsában levő n forgattyúcsap az előbb leírt módon a középponttól a kívánt r sugár távolságába állítható. Ez a csap azonban most nem a tolórúddal, hanem az o pont körül lengő A himbával áll kapcsolatban azáltal, hogy annak kivágásában csúsztatik, míg a tolórúd a himba csapjával van összekötve. Minthogy a himba az állványba erősített csap körül leng, szélső állásaiban a 140. II. ábra szerint az r sugarú kört érinti. De mert az a és b érintő pontokba futó sugarak által bezárt

$\alpha o_1 b = \varphi$ azzal a t_2 idővel arányos, amely alatt a visszamenés megy végbe, a $360 - \varphi$ szög pedig azzal a t_1 idővel, amely alatt a forgácsolás történik, ezért a sebességek viszonyát (μ) így fejezhetjük ki:

$$\mu = \frac{v_2}{v_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{360 - \varphi}{\varphi} \quad (229/c.)$$



140. ábra.

Himbás szerkezet, a visszamenés gyorsítására.

Himbás szerkezetnél, amint az a 140. II. ábrából kitűnik, a φ változtatható. Az ábra szerint ugyanis az $\alpha o_1 o$ háromszögből következik, hogy:

$$\cos \frac{\varphi}{2} = \frac{o_1 a}{o o_1} = \frac{r}{l},$$

de mert l állandó, ennél fogva φ az r változtatásával módosul.

A φ szög változtathatósága képezi a himbás szerkezet egyik előnyét, további előnye pedig az, hogy a haladó mozgás kilengésének útja (s) e szer-

kezettel lényegesen növelhető. Amíg ugyanis a rendes forgattyús elrendezésnél $s = 2r$, addig ennél a szerkezetnél:

$$s = h_1 h_2 = 2L \cos \frac{\varphi}{2} = 2r \frac{L}{l}, \quad (230.)$$

tehát $\frac{L}{l}$ -szer nagyobb, mint a közönséges forgattyús mechanizmusnál.

E szerkezet előnyeként felemlítendő még az is, hogy a forgácsolás sebességét lényegesen egyenletesebbé teszi, amint az a 139. II. és a 140. II. ábrák összehasonlításából kitűnik.

Megemlítjük még, hogy minden forgattyús mechanizmust, ha azt különböző anyagok forgácsolásánál akarjuk felhasználni, oly szerkezettel is kell felszerelni, amely a főtengely fordulatszámának megváltoztatását lehetővé teszi. E célra szolgálnak a lépcsős szíjdobok és a fogaskerék-áttevések, amelyekkel azonban nem itt, hanem a következő fejezetben fogunk foglalkozni.

β_1) Forgó főmozgást létesítő elemek.

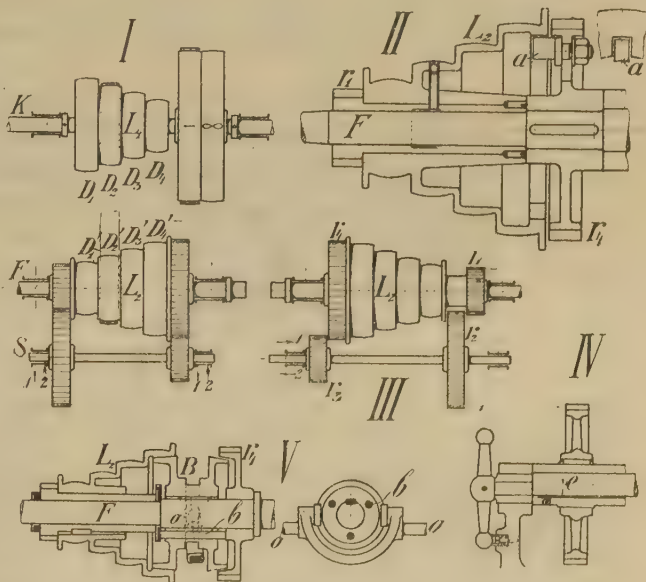
253. Forgó mozgás esetén a szerszám és a tárgy közötti sebességet a tárgy átmérője határozza meg. Ha pl. a tárgy forog, akkor ennek kerületi sebessége egyúttal a forgácsolás v_1 értékét adja, ez pedig, ha a tárgy percenkénti fordulati száma n , így fejezhető ki:

$$v_{1\text{ m/sec}} = d\pi \cdot \frac{n}{60}, \text{ vagy } v_{1\text{ m/perc}} = d\pi \dot{n}. \quad (231.)$$

Amde a forgácsolás sebessége adott anyagnál és a forgács egy bizonyos keresztmetszeténél határozott értékű és független a tárgy átmérőjétől, miért is a d változásával az n is változtatandó. Hogy e feladatnak eleget tehessünk, a szerszámgépeket oly szerkezettel látjuk el, amely a főtengely fordulatszámát tág határok közt megváltoztatni képes.

Régibb szerkezeteknél e feladatnak lépcsős szíjdobokkal s fogazott kerékáttevésekkel tettek eleget s e célból ez elemeket olyképp rendezték el, amint azt a 141. I. és III. ábra mutatja.

Ez elrendezésnél a K közlőmű tengelyén és az F főtengelyen négy szíjdob van, ezek az ábrán D_1, D_2, D_3, D_4 és D'_1, D'_2, D'_3, D'_4 -gyel vannak jelölve s ezeket lépcsős szíjdoboknak nevezzük. Ha mindkét lépcsős szíjdob ékelt, a főtengelynek 4-féle fordulati számot adhatunk azzal, hogy a szíjat az egyik szíjdobpárról a másikra tesszük át. Még nagyobb határok között változtathatjuk meg azonban a főtengely fordulati számát, ha a rajta levő lépcsős szíjdobot lazán helyezzük el s forgását az r_1 kerék útján az S tengelyre erősített r_2, r_3 kerek segítségével visszük át a főtengelyre ékelt r_4 -re. Ha azonban a főtengelyt oly forgátszámmal kell ellátnunk, amekkorát a lépcsős szíjdobok a fogaskerekek nélkül nyújtanak, akkor az S tengelyen levő r_2 és r_3 fogaskereknek az r_1 s r_4 -gyel való kapcsolódását meg kell szüntetnünk, a lépcsős szíj-



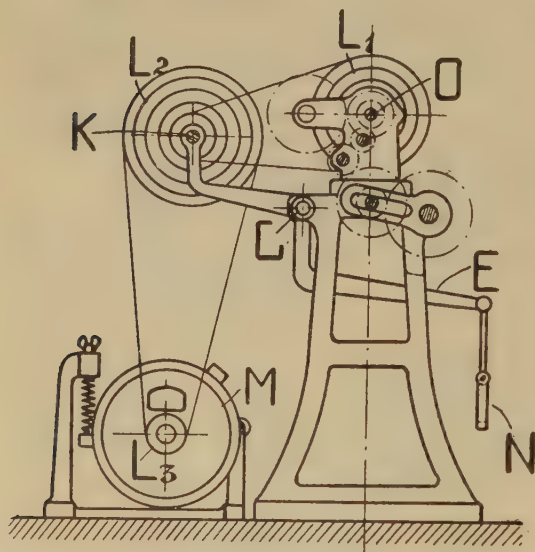
141. ábra.

Változó forgást létesítő gépelemek.

dobokat pedig a tengelyhez kell kapcsolnunk. A fogazott kerek kikapcsolása kétféle módon lehetséges: az S tengelyt vagy saját irányában toljuk el (lásd a 141. III. ábrát), vagy pedig a főtengelytől eltávolítjuk, például úgy, hogy excentrikus alakú csapágycsészékbe ágyazzuk s azokat elforgatjuk (lásd a 141. IV. ábrát).

A főtengelyen levő laza szíjdoboknak a tengelyhez való rögzítését úgy érjük el, hogy azokat a 141. II. ábrán látható a ütközővel az ékelt r_4 kerékhez kötjük.

Transzmisszióról hajtott gépeknél a közlőmű a menyezetre van szerelve. A lépcsős szíjdobokat tehát hosszú szíj köti össze. E hosszú



142. ábra.

Külön motorral hajtott lépcsős szíjdob, amelynél a közlőmű szögemelőtűre van szerelve.

szíjnak egyik szíjdobról a másikra való áthelyezése veszélyes, de még veszélyesebb a közlőművet hajtó szíjnak keresztezése, amelyet gyakran azért kell elvégeznünk, hogy a tárgy forgásirányát megváltoztassuk.

levő szíjdobok súlya pedig feszíti a szíjdobokat összekötő L_1 szíjat, mert az E kar C csuklója körül elfordulhat. A szíjdobokon levő szíj áthelyezésekor az N lábitóval közelítjük a K tengelyt az O tengelyhez; ekkor ugyanis a szíjat teljesen tehermentesítjük s így ez veszélytelenül más szíjdobra tehető. E gép forgásirányát az elektromotor kapcsolójával változtathatjuk, tehát ez a művelet veszélytelenül végezhető el.

E hátrányokat elháríthatjuk, ha a szerszámgépet külön elektromotorral hajtjuk, mert akkor a K közlőművet a 142. ábra útmutatása szerint, a szerszámgép állványával kapcsolatban álló E szögemelőtűre szerelhetjük. Ez elrendezésnél a motor (M) rugalmasan van állványához kötve, hogy az L_3, L_2 szíjdobokat összekötő szíjat saját súlyával feszítse. A K tengelyen

A fogazott kerek kikapcsolása az S tengely elmozdítása nélkül is lehetséges, ha ugyanis a 141. V. ábrán látható surlódó kapcsolatot alkalmazzuk. Ez elrendezésnél nemcsak a lépcsős szíjdob, hanem az r_4 kerék is lazán fut a főtengelyen s csupán a közéjük szerelt kettős kúp alakú surlódó kapcsoló van eltolhatóan a tengelyre ékelve. Ha e kettős

kúpot balra toljuk, a szíjdobok forgatják a tengelyt, ha pedig jobbra, akkor a fogazott kerek forgatja azt.

A most ismertetett elrendezések bármelyikénél négy lépcsős szíjdobbal és a fogaskerék-áttevéssel a főtengelynek 8-féle fordulati számot adhatunk. Ha a közlőmű állandó fordulatszámát n_k -val jelöljük, akkor a főtengely fordulati számai így fejezhetők ki:

$$n_1 = n_k \frac{D_1}{D'_1}, \quad n_2 = n_k \frac{D_2}{D'_2}, \quad n_3 = n_k \frac{D_3}{D'_3}, \quad n_4 = n_k \frac{D_4}{D'_4} \text{ és}$$

$$n_5 = n_k \frac{D_1}{D'_1} \frac{r_1}{r_2} \frac{r_3}{r_4}, \quad n_6 = n_k \frac{D_2}{D'_2} \frac{r_1}{r_2} \frac{r_3}{r_4}, \quad n_7 = n_k \frac{D_3}{D'_3} \frac{r_1}{r_2} \frac{r_3}{r_4}, \quad n_8 = n_k \frac{D_4}{D'_4} \frac{r_1}{r_2} \frac{r_3}{r_4}.$$

E nyolc fordulati szám közül az a legmegfelelőbb, amely a legközelebb áll a 231. képlettel kiszámított n értékhez. Hogy a számítást ne kelljen minden alkalommal megismételni, diagrammot vagy logarlécet készítünk. E célból a 231. képletet így írjuk:

$$\frac{v_1}{d_1} = \pi n_1 = tg \omega_1, \quad (232/a.)$$

hasonlóan fejezzük ki a többi fordulatszámokat, t. i.:

$$\pi n_2 = tg \omega_2, \quad \pi n_3 = tg \omega_3.$$

A $\frac{v}{d} = tg \omega$ függvényt derékszögű koordináta-rendszerben úgy ábrázoljuk, hogy az ordinátán a v értékét, az abszcisszán pedig a d értékét jelöljük meg; ezenfelül meghúzzuk e derékszögű koordináta-rendszer kezdőpontjából kiindulva az $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ szögeket alkotó szárakat is. Az ilyen diagrammon a legmegfelelőbb áttevést a következő módon határozzuk meg:

A tárgy átmérőjét (d_1) jelző abszcisszájának végpontjából merőlegest húzunk e tengelyre, ezután pedig a kiszámított v_1 sebességet jelző ordináta végpontból az abszcisszával párhuzamosat, míg az előbbi metszi (lásd a 143. ábra jobboldali felső képét). E metszésponthoz legközelebb álló szögcsúszár által bezárt szög tangense adja a kívánt áttevést.

Ha logarlécet akarunk készíteni, akkor a 232. képletet logaritmusokkal fejezzük ki:

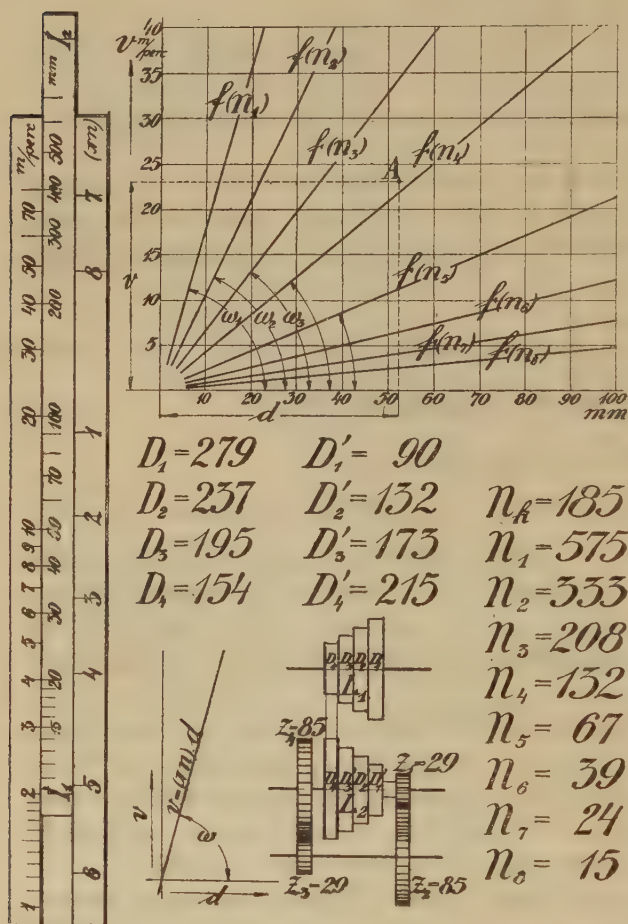
$$lg v_1 - lg d_1 = lg (\pi n).$$

E képlet szerint tehát a kívánt áttevést megkapjuk, ha $lg v_1$ -ből $lg d_1$ értékét kivonjuk. Hogy a kivonás műveletét logarléccel elvégezhessük, a lécszilárd felső részére a 143. ábra baloldali képén látható módon a $lg v$ értékeit mérjük fel, a $lg d$ értékeit pedig a tolóka felső szélére, míg annak alsó élére csak az egységeket jelző indexeket, holott a szilárd rész alsó élére a különböző $\pi n_1 \pi n_2 \dots$ értékeket. Ha tehát a megadott v_1 alá a tolóka d_1 pontját helyezzük el, akkor alsó élének indexe a maradékot jelzi, miért is ez indexhez legközelebb álló πn érték

jelzi a kívánt áttevést. A 143. ábrán látható lécen a $\pi n_1 \pi n_2 \dots$ helyett csak az 1, 2, 3... számok szerepelnek.

254. Újabb elrendezéseknél a lépcsős szíjdoboknak fogaskerekkel való kombinációja helyett csupán fogazott-kerék-áttevést használnak. Ez elrendezésnek előnye, hogy a szerszámgép külön elektromótorral hajtható és hogy a sebességváltás a szíj helyzetének megváltoztatása nélkül foganatosítható. A szokásos elrendezést a 144. I. ábra mutatja. Ennél, ép úgy mint az előzőnél, háromtengely van, t. i. a közlőművet helyettesítő K tengely, az F főtengely és az áttevést végző S tengely.

A motor a K tengelyt hajtja, forgásában részt vesznek a rajta levő ékvezetékes hüvelyre ékelt r_a és r'_a kerek, amelyek a forgást a főtengelyen levő laza hüvelyre viszik át. Az F főtengelyen két hüvely van, az egyik laza, a másik ékelt. A lazán van az $r_b r'_b$ és az $r_1 r'_1$, az ékelten az $r_4 r'_4$ kerék. E kerek között az azonos alapindexszel bírók akkora távolságban vannak egymástól, hogy közéjük a K ,

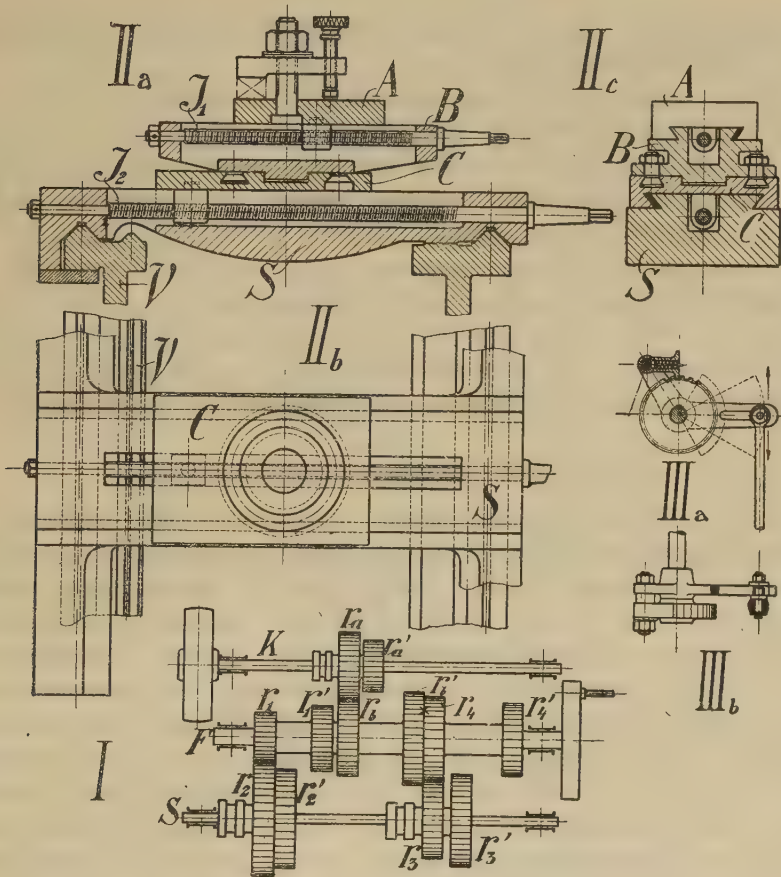


143. ábra.

A legmegfelelőbb áttevés meghatározására szolgáló diagramm és logarléc.

vagy pedig az S tengelyen levő kerékpárok elérhessenek. Ezzel eleje van véve annak, hogy egyidejűleg kétféle áttevés kapcsolassék be. Az S tengelyen két ékvezetékes hüvely van, mindegyikük egy-egy kerékpárt hord. A baloldali hüvely kerekai a mozgást a főtengelyen levő laza hüvelyről az S tengelyre, a jobboldali hüvely kerekai pedig a forgást az S tengelyről a főtengely ékelt hüvelyére viszik át. Ha tehát az r_a az r_b -vel kap-

csatlózik és azonfelül az r_1 az r_2 -vel, vagy pedig az r'_1 az r'_2 -vel, akkor az S tengely forgásba jut s ezt a forgást az r_3 , vagy az r'_3 kerék az r_4 -re, vagy a r'_4 -re viszi át, minek folytán a főtengely forgásnak indul. Ha az $r_2 r'_2$ kerékpárt az $r_1 r'_1$ kerekek között levő résbe helyezzük, az $r_3 r'_3$ kerékpárt pedig az $r_4 r'_4$ kerekek közé, akkor sem az S tengely, sem az F nem forog, hanem csak a főtengelyen levő laza hüvely. Hogy ez esetben a főtengelyt forgásba hozzuk, az r'_6 kereket össze kell kötni az r_4 -gyel,



144. ábra.

A mellékmozgást végző szánszerkezet (Szupport).

még pedig oly ütközővel, aminőt (l. 141. II. ábrát) a lépcsős szíjdoboknál használtunk. Az előző példában a K tengelyen levő kerekek közül az r_a kapcsolódott a főtengelyen levő r_b -vel, lehet azonban az r_b -t az r'_b -vel kapcsolni, csak hogy akkor a forgás lassúbbá válik. A főtengely forgását még azáltal is változtathatjuk, hogy r_2 helyett r'_2 kapcsolódik r'_1 -gyel, vagy pedig, hogy az r_3 helyett az r'_3 az r'_4 -gyel. E szer-

kezettel tehát a főtengely nyolcféle fordulatszámmal foroghat, nevezetesen:

$$\begin{aligned} n_1 &= n_k \frac{r_a}{r_b}, \quad n_2 = n_k \frac{r'_a}{r'_b}, \quad n_3 = n_k \frac{r_a}{r_b} \cdot \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{r_3}{r_4}, \quad n_4 = n_k \frac{r'_a}{r'_b} \cdot \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{r_3}{r_4} \\ n_5 &= n_k \frac{r_a}{r_b} \cdot \frac{r'_1}{r'_2} \cdot \frac{r_3}{r_4}, \quad n_6 = n_k \frac{r'_a}{r'_b} \cdot \frac{r'_1}{r'_2} \cdot \frac{r_3}{r_4}, \\ n_7 &= n_k \frac{r_a}{r_b} \cdot \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{r'_3}{r'_4}, \quad n_8 = n_k \frac{r'_a}{r'_b} \cdot \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{r_3}{r_4}. \end{aligned}$$

Hogy e nyolc közül melyik a legmegfelelőbb, azt a diagrammal vagy a logarléccel állapíthatjuk meg.

255. A főtengely fordulatszámának megváltoztatása fogazott kerek s lépcsős szíjdobok nélkül is megoldható, ha ugyanis a szerszámgépet külön elektromotor hajtja. E célból az egyenáramú motorok ellenállással vagy kommutáló pólusokkal vannak ellátva, a forgóáramú motorok pedig vázoltatható pólusszámmal. Mindkét rendszernél a kapcsoló pólusainak felcserélésével a gép forgásirányát is megváltoztathatjuk s ezzel a keresztezett szíjakat teljesen mellőzhetjük. Ámbár a legújabb szerszámgépek már lépcsős szíjdobok nélkül készülnek, a szerszámgépek leírásához csatolt vázlatokon mégis a lépcsős szíjdobokat fogjuk jelezni azért, hogy ezzel a fordulatszám változtathatóság szükségességét szemléltethetővé tegyük.

γ_1) A mellékmozgásokat létesítő géprészek.

256. A mellékmozgások jellege, mint már a 238. pontban kifejtettük, két egymásra merőleges irányú haladó mozgás. E mozgásokat az úgynevezett szánszerkezetekkel (szupportokkal) hozzuk létre, amelyek lényege a 144. II/a, II/b, II/c ábrák szerint az *A* jelű szerszámtartó, amely a *B* lapon fecskefark alakú vezetéknél fogva egyenes irányban csúszhatik. Kényszermozgását az *A* lap a *B* lap közepén lévő kivágásba helyezett *I*₁ csavartól nyeri. Minthogy pedig a szerszámokat gyakran haladásirányukhoz képest ferdén kell elhelyeznünk, azért a *B* szánrész a *C* lapon körívben elmozdítható. Az *AB* irányra merőleges irányú mellékmozgás céljából a *C* lapot az *S*-re ugyancsak szánszerűen helyezük el. E célból az *S* lap résében fészkel az *I*₂ csavar, melynek csavarhüvelyét a *C* laphoz kötjük. Ámde sok esetben hosszabb utat kell megtennie a szerszámnak, mint amekkorát az *AB* vagy a *CS* szánok azt lehetővé teszik, ezért az *S* lap is szánszerűen helyeztetik el a hosszabb méretű *V* vezetékre. A szánszerkezetek kézzel való mozgatását az *I*₁ vagy *I*₂ csavarok végére helyezett forgattyúval eszközöljük, gépies mozgatásuk céljából pedig a csavarokra a 144. III/a és III/b ábrákon bemutatott kilincsszerkezetet erősítjük rá. A kilincskereket ugyanis a csavarra ékeljük, a kilincset tartó szögemelőt pedig a csavarra lazán helyezük el. A szögemelőt alternatív mozgatásával forgatjuk a kilincskereket, tehát a csavart is.

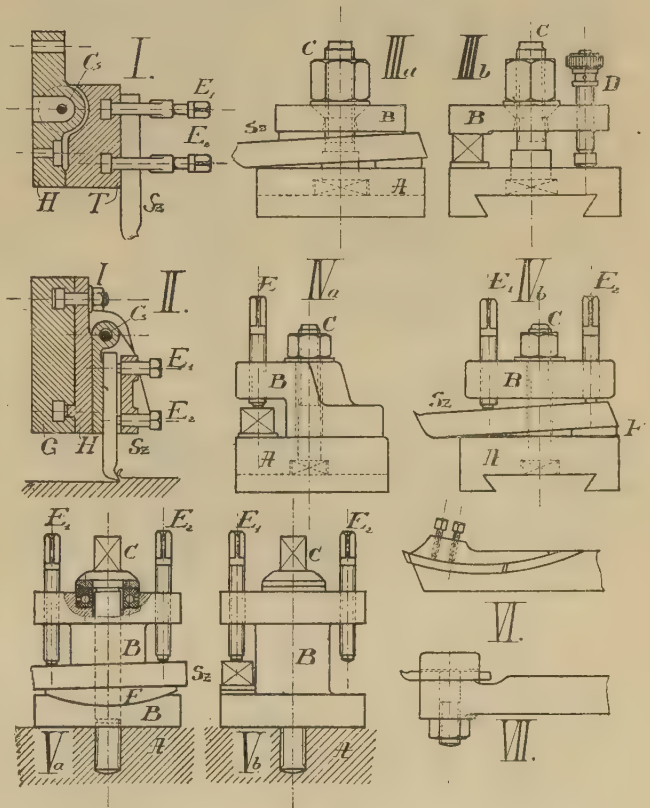
δ_1) A szerszám és a tárgy befogása.

257. A szerszám befogása a főmozgás minősége szerint módosul. Váltakozó irányú haladó mozgás esetén a szerszámtartó, mert a szerszám visszamenetkor nem forgácsol, csak surlódik a megmunkált felülethez, ezért azt a 145. I. és II. ábrák szerint a csap körül kilenghetően szereljük. Ezzel ugyanis a szerszám kilenghet, mielőtt akadályokba ütközik s így éle nem törik le.

Minthogy a szerszámot gyakran haladása irányához képest ferdén kell elhelyeznünk, ezért a H lapot, amely a szerszámtartó csapját hordja, a G laphoz képest körben elmozdíthatóvá tesszük, adott helyzetében azonban az I csavarral rögzítjük.

Forgó főmozgás esetén a mellékmozgásokat sok esetben a szerszám végzi. Ilyenkor a szerszámot a szupport felső lapjára úgy erősítjük, hogy éle a tárgy felületéhez képest a megkívánt szöget alkossa. Ezt a feladatot a 145. IIIa s IIIb ábra szerint úgy érjük el, hogy a kés nyele alá és fölé pótlékokat tesszük, ezeket pedig a B fedőlappal rögzítjük. Az említett ábrában a B lap háromszög alakú, amely a közepén lévő C csavarral a szerszámra rászorítható, de hogy nyomása az alátétlemezekre normális irányú legyen, csúcsát a D állító csavarral annyira emeljük, hogy a szupport lapjával egyirányú legyen.

A 145. IVa s IVb ábra szerint a szerszám ferde helyzete ugyancsak alátétlemezekkel érhető el, a szerszám rögzítése azonban az A laphoz erősített sarokvasalakú B részben levő két csavarral (E_1, E_2) eszközölhető.

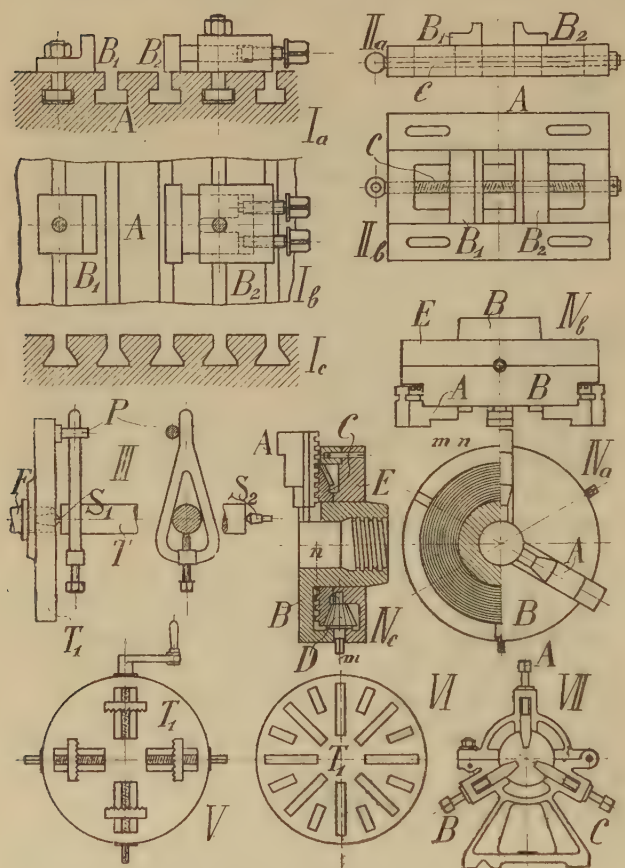


145. ábra.

A szerszám befogásának különféle módjai.

A 145. Va és Vb ábrák szerinti elrendezésnél az A lappal kapcsolatos B befogó szerkezet kengyelalakú. A szerszám rögzítése e kengyelbe erősített csavarokkal történik, a szerszám ferde helyzetét azonban nem alátételemezekkel, hanem az ábrán látható F_1 gömbszelvényalakú alátéttel érjük el.

258. A tárgy befogására áttérve megjegyezzük, hogy az a tárgy alakja és mérete szerint módosul. Ha a tárgy nagyobb megfekvő felülettel bír, akkor azt síklapra erősítjük. E célból a tárgyat befogó lap



146. ábra.

A tárgy rögzítésének szokásos módjai.

a 146. Ia, Ib, Ic s VI. ábrán látható csavarfejek foglalatosa kapcsolására alkalmas résekkel van ellátva. E csavarokkal azonban a tárgyat nem közvetlenül, hanem csak más géprészek közbeiktatásával erősítjük a síklaphoz, nevezetesen a 146. Ia és Ib ábrák baloldali része szerint a sarokvassal, a jobb oldali része szerint pedig szánszerű szerkezettel.

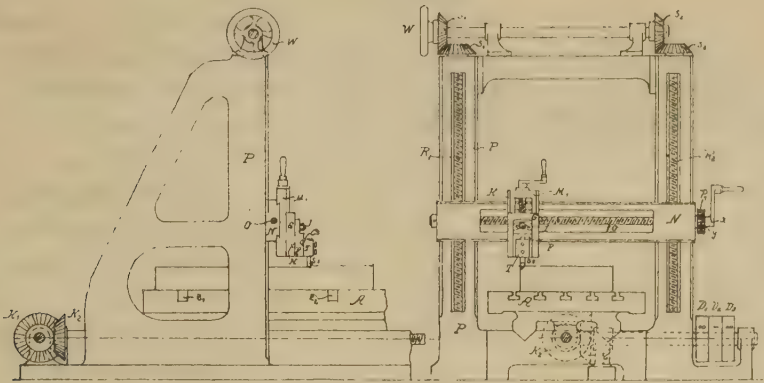
Kis megfekvési felülettel bíró tárgyakat satúszerű befogókkal kötünk az A lapra. A 146. V. ábra szerint a tárgytartó lap réseiben csavarok fészkelnek,

amelyek hüvelyeivel recézett lapokat egyesítünk, hogy azokkal satúszerűen megfoghassuk a tárgyat. Ez elrendezésnél a tárgy központos befogása fárasztó, már pedig, ha a tárgyat forgó mozgással kell ellátnunk, központos helyzete okvetlenül szükséges. Ezt a feladatot a 146. IVa, IVb, IVc ábra szerint úgy oldjuk meg, hogy a satú befogólapját az A lap réseibe épügy illesztjük be, mint azelőtt, de ezekhez nem a csavarhüvelyt kötjük oda, hanem fogazott rudakat. A fogazott rudak a gyűrűalakú C kúpos kerék alaplapján lévő sík spirálissal kapcsolódnak, miért is

a C kerék forgása esetén, amit a D kerékkel létesítünk, a spirális menetei az összes satúkat egyértelműen mozgatják.

Hosszú tárgyakat, ha azok forgómozgást végeznek, forgástengelyük irányában két kúpszeggel, t. i. a fej- és a nyeregszeggel támasztják meg. E kúpszegek fészket a kúpos jelzővasnak beverésével készítjük el. Hogy az ilykép támasztott tárgyat forgómozgásba hozzassuk, arra a 146. III. ábrán látható szívalakú szorítócsavart erősítjük rá, a forgó főtengely végére pedig tárcsát helyezünk, amelybe ütközőcsapot erősítünk (E). E csap ütközik a szívalakú szorítócsavarba s ezzel a forgást a tárgyra viszi át.

A hosszú, vékony tárgyakat, nehogy forgácsolás közben kihajoljanak, a támadó hely közelében csapággyal, vagy legalább csapágycsész-szelvényekkel támogatjuk. Ezt a feladatot a 146. VII. ábrán látható elrendezéssel oldhatjuk meg.



147. ábra.

A közönséges hosszgyalú.

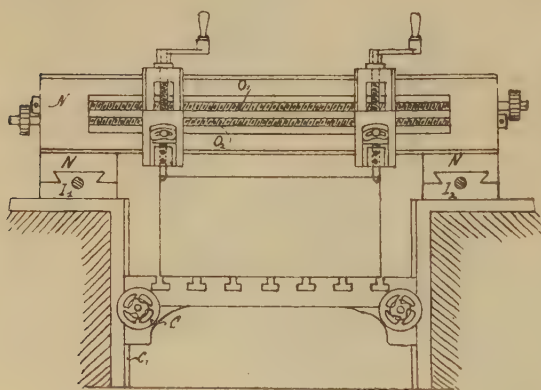
ε) A forgácsoló szerszámgépek leírása.

α₁) A gyalúk.

259. A gyalúk elnevezésére vonatkozólag már közöltük, hogy azokat a főmozgás irányára szerint hossz-, haránt- vagy függélyes gyalúknak nevezzük. A hosszgyalú szerkezete azonban a tárgy méretei szerint háromféle lehet. Leggyakrabban használják a 147. ábrán látható *közönséges hosszgyalút*. Ennél a tárgy az A tárgytartólapra nyugszik, ez pedig az állvány ékvezetékében mozoghat. Mozgását a 247. pontban említett módok valamelyike szerint nyeri. A 147. ábrán a csavarhajtás látható. Hogy a $D_1 D_2 D_3$ szíjdobok a váltakozó irányú forgást a tárgy hosszúsága arányában végezzék, evégett a tárgytartó-asztalhoz a $Z_1 Z_2$ ütközőket erősítjük hozzá. Minthogy a tárgy csak a főmozgást végzi, a mellékmozgásokat a szerszámnak kell végeznie. E célból azt a 257. pontban ismertetett módon fogjuk be. A szerszám T tartója tehát csap körül

lenghet, a csapot tartó F lap pedig a G laphoz képest körívben mozgatható. A G lap a K csavar útján az M_1 lapon a függőleges síkban, az M_1 lap pedig az O csavar hatása folytán az N lapon a vízszintes síkban a már ismertetett egyenes-vezetékben mozoghat. Az O csavar e gépies mozgatása a P kilincskerék útján történhetik.

Mint hogy nagyméretű tárgyak mozgását az N lap megakadályozná, ha az ábrán látható helyzetben maradna, azért azt a függőleges síkban kell elmozdíthatóvá tennünk. E célból a gép két oldalára P tartókat helyezünk el, ezek felső végeit, szilárdításuk céljából, keresztartóval összekötjük és hogy az N lap e P tartókon elcsúszható legyen, szupportszerűen kapcsoljuk őket össze. A P tartók réseibe helyezett R_1 , R_2 csavarokkal mozgatható tehát az N lap, de hogy mozgása dacára helyzete párhuzamos maradjon, az R_1 és az R_2 csavart egyformán kell elforgatnunk. E célból végükre az s_1 , s_2 kúpkerekeket tesszük s azokat a W vízszintes tengelyen fekvő s'_1 s s'_2 kúpkerekekkel összekötjük.



148. ábra.
A veremgyalú.

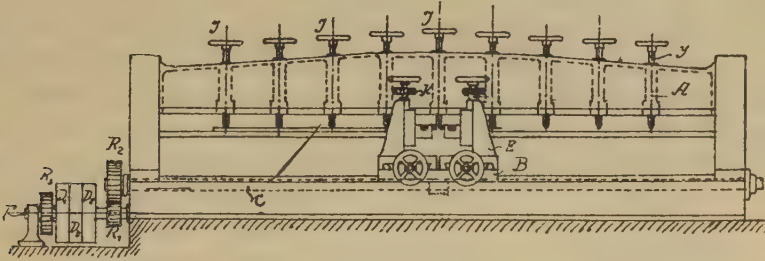
E közösleges hosszgyalú a tárgytartó lap kilengése folytán kétszer olyan hosszú, mint a megmunkálendő tárgy, azért igen hosszú tárgyak megmunkálásánál ezt a rendszert nem használjuk; de nem használjuk ezt igen súlyos tárgyaknál sem, mert azok ide-oda mozgatása sok

mechanikai munkát igényel, ez utóbbi két esetben éppen azért a veremgyalút használjuk.

260. A veremgyalú elrendezését a 148. ábrán mutatjuk be. A tárgy a verembe sülyesztett tárgytartólapon helyeztetik, amely egyenes vezetékeiben a CC_1 csavarkerékkel rögzíthető. A szerszám (Sz) ugyanolyan szupporttal szerelendő fel, mint a hosszgyalúnál, csakhogy ennek lapja itt az állvánnyal kapcsolt tartókon vízszintes síkban mozog. A tartók $I_1 I_2$ csavarjainak egyidejű mozgását most is a vízszintes tengellyel végezzük, de e vízszintes tengely most a gép főtengelye, miért is az alternatív mozgást létrehozó szerkezettel, pl. hármas szíjdobbal szerelendő fel. A 148. ábrán az N szánrészleten két szerszámtartó van, hogy a tárgyat gyorsabban megmunkálhassuk. E szerszámok mindegyike külön mozgató szerkezettel látandó el. E célból az ábrán az N -ben két csavart látunk. Lehet azonban ezt a feladatot egy csavarral is megoldani, ha a csavar

egyik felét jobb, a másikat pedig bal menettel látjuk el. Megjegyezzük, hogy a közönséges hosszgyalúkat is szokás két szerszámmal felszerelni.

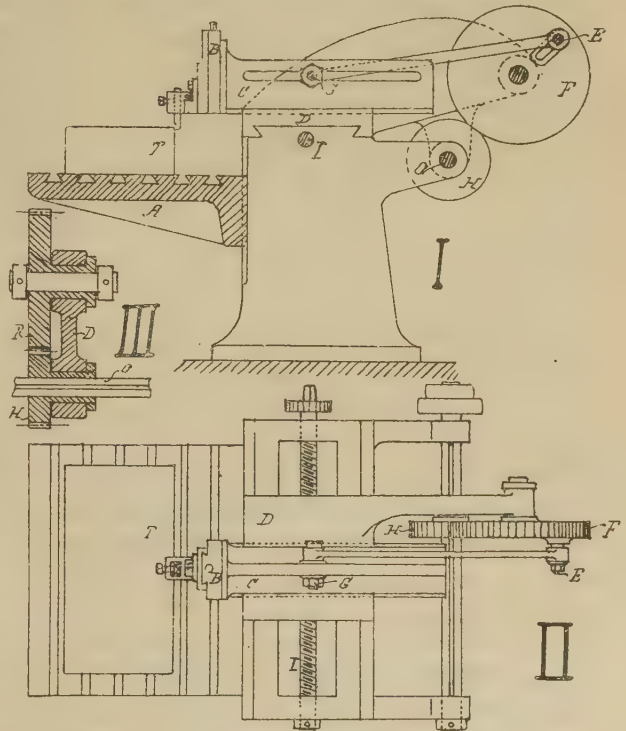
261. A hosszgyalúknak van még egy további fajtája is, t. i. a lemezgyalú, melynek szerkezetét a 149. ábra mutatja. A tárgy az *A* alaplapra



149. ábra.
A lemezgyalú.

az *I* csavarokkal rögzíthető. A főmozgást a szerszám éppen úgy végzi, mint a veremgyalúnál, de a szerszámtartó *B* szupportrészlete, a főmozgás létesítése céljából csak egy csavarral van ellátva. Éppen ezért e csavaron (*C*) három szíjdob van. A szerszámtartó többi részletei megegyeznek a hosszgyalúéival.

262. A harántgyalú oldalnézetét, alaprajzát és a fogaskerék áttevésmet-szetét a 150. I., II., III. ábra mutatja. Ennél a tárgy az *A* tárgytartóhoz van erősítve, amely csak a tárgy magassága mérete arányában állítható be. Forgácsolásközben a tárgy áll és az összes mozgásokat, tehát a főmozgást is a szerszám végzi. E célból a szerszám tartója csap körül lenghető hüvelybe van befogva, a csap alaplapja körívben elforgatható és a *B* rész útján a függélyes síkban mozgatható. A *B* rész azonban a *C* köldökhöz van kötve s ezzel együtt végzi a vízszintes síkban



150. ábra.
A harántgyalú.

dezése többféle lehet. Rendesen csak a fejszeg forog, a nyeregszeg pedig áll (ez a közönséges hosszeszterga), de az esztergának oly elrendezést is adhatunk, hogy mindkét szöge álljon, vagy mindkettő forogjon. Mint-hogy a forgómozgást végző csap, valamint az azt támasztó csapágó a folytonos igénybevétel következtében kopik, azért az olyan esztergán, amelynek egyik támasztószöge forog, nem lehet olyan pontos munkát végezni, mint azon, amelynek támasztószögei állanak (tengelyeszterga), még kevésbé azonban az oly esztergán, amelynél mindkét támasztószög forog (vasúti eszterga). A fejesztergákra vonatkozólag megjegyezzük, hogy tengelyük fekvése lehet vízszintes vagy függőleges.

α_2) A hosszesztergák.

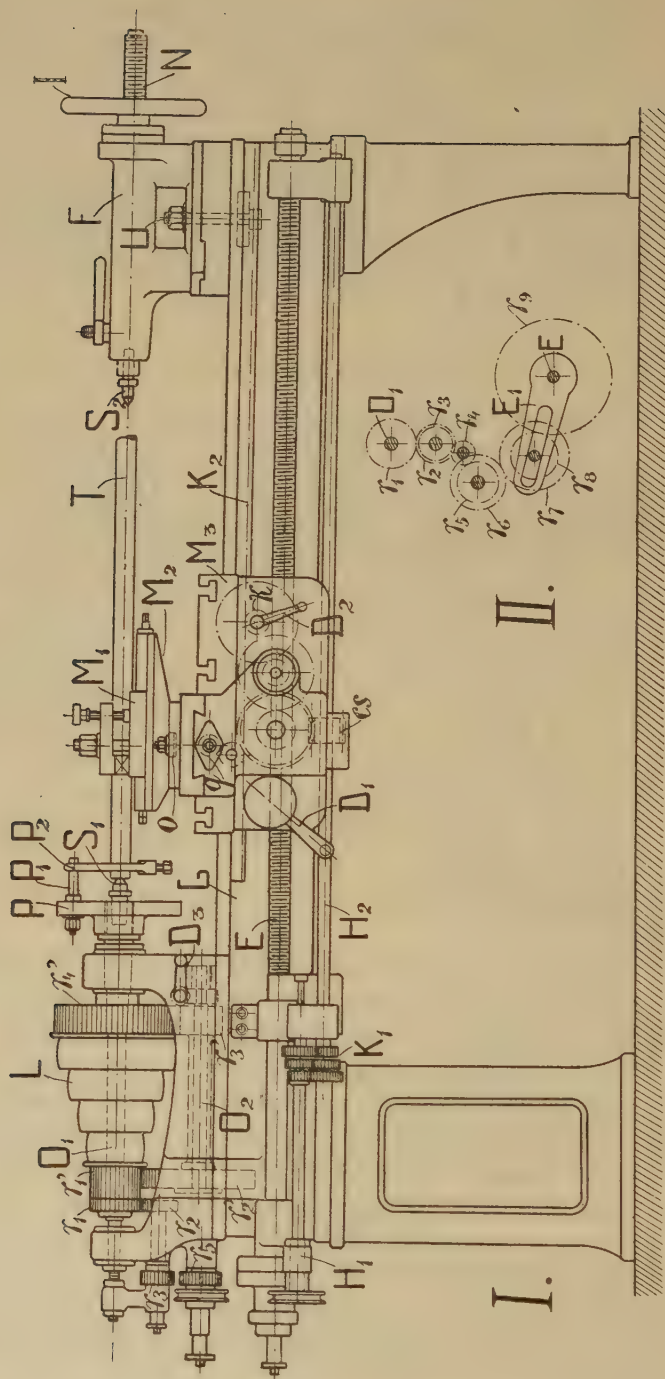
265. A közönséges hosszesztergának lényege a 152. ábra szerint a következő: A megmunkálandó A tárgyat az $S_1 S_2$ fej- és nyeregszeg fogja meg. Forgatását a B tárcsán lévő ütköző és a tárgyon levő C szív-alakú P_2 szorítócsavar biztosítja. Minthogy a főtengelyt különböző fordulatszámmal kell járatnunk, azért ezt lépcsős szíjdobokkal (L) és fogaskerékáttevéssel $r'_1—r'_4$ szereljük fel. A főtengely csapágytartóját, valamint a nyeregszeg tartóját az eszterga padjához erősítjük. Ez oly magas bak-szerű alapon áll, hogy a főtengely a padlózattól 1 m magasságba kerül. Esztergánál a tárgy csak a főmozgást végzi, a mellékmozgásokat pedig a szerszám, ezért ez utóbbit a 143. ábrán ismertetett szupportra kell erősítenünk. E szupportszerkezetnek (l. a 152. ábrát) az eszterga G padján mozgó M_3 részét az E -vel jelzett *főcsavar* mozgatja, ezért ezt oly szerkezettel szereljük fel, mely lehetővé teszi, hogy a forgást nagy határok között változtassuk.

A hosszeszterga egyes részeire vonatkozólag pedig a következőket jegyezzük meg.

266. A nyeregszeg és a fejszeg a 153. I/b ábra szerint kettős kúp-alakú edzett acél-tüske, amely hosszabb végével a tengely furatában fészkel. Minthogy a tárgyat a nyeregszeggel kell a fejszeghez hozzá-szorítanunk, a tüskét magába foglaló N tengely végét csavarmenettel, többi részét pedig ékvezetékekkel látjuk el, hogy ez az I kézi kerék hatása következtében az F részben csak haladjon, de ne forogjon. A tárgy befogása után az N tengelyt helyzetében az L csavar rögzíti. Minthogy az N tengely csavarmenetes része rövid, a tárgy pedig igen különböző hosszúságú, ezért az F nyeret az eszterga G padján tovacsúsztathatjuk és az U csavarral rögzíthetjük.

A főtengelyre vonatkozólag megjegyezzük, hogy végét kúpszeggel támasztjuk, hogy a nyeregszeg okozta tengelyirányú nyomást felfoghas-suk (l. a 152. ábrán).

Nagyobb pontatlanságok kiküszöbölése céljából gondot kell fordí-

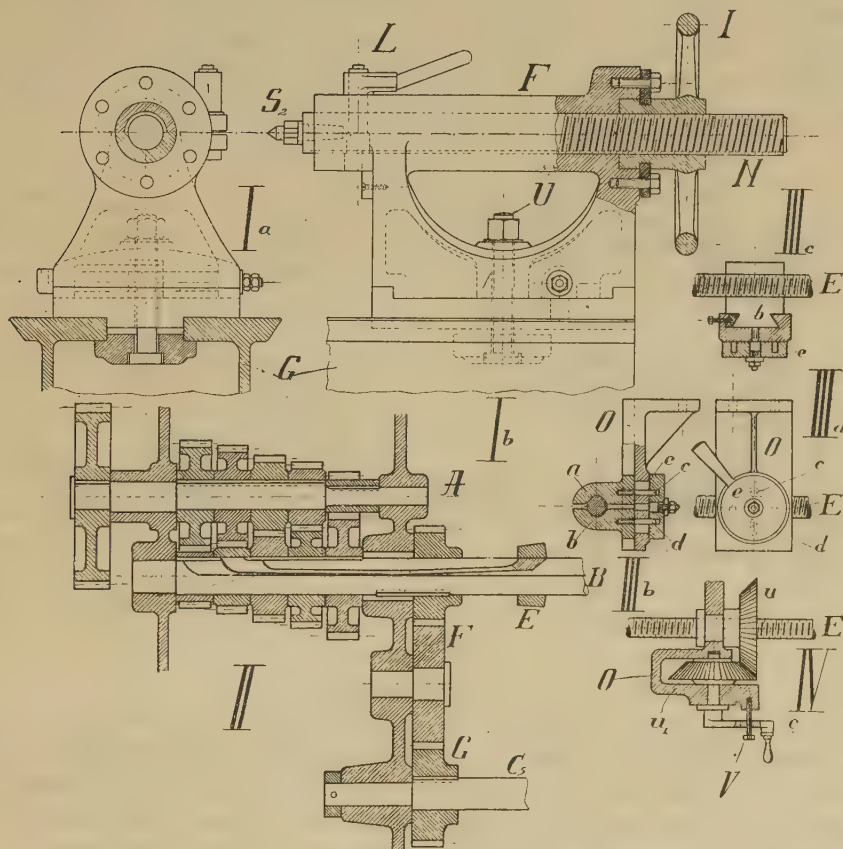


152. ábra.

A közönséges hosszszterga.

tanunk a csapágyak és a csapok épségben tartására s azok pontos illeszkedésére. A csapok kopását csökkenthetjük, ha felületükön cementáljuk és edzzük; pontos illeszkedésüket pedig megkönnyítjük, ha a csapoknak kúpos alakot adunk.

Mínthogy az olyan esztergákon, amelyeknél az eszterga G padja folytonos síkot alkot, csak olyan vastag tárgyak munkálhatók meg, amelyek sugara a fejszeg magasságánál kisebb, azért azt a fejszeg mellett



153. ábra.

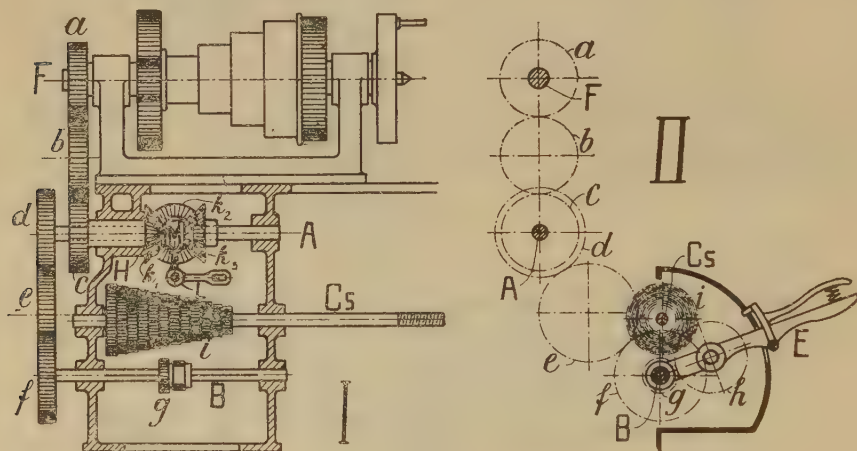
A hosszeszterga részletei.

kivágjuk, helyesebben mondvá kihajlítjuk, hogy rajta excentrikus kiágazású tárgyak is megmunkálhatók legyenek.

267. A szerszámtartóra vonatkozólag megjegyezzük, hogy annak sebességét nagy határok között kell változtatnunk. Régibb szerkezetű esztergákon e feladatot a 152. ábra szerinti elrendezéssel oldottuk meg. Ennél ugyanis a mellékmozgást kifejtő E főcsavar a 152. II. ábrán látható fogaskerék-áttevés útján a főtengelytől nyeri forgását. E célból a fő-

tengelyen lévő r_1 kerékkel az r_2 továbbító kerék (transportkerék) kapcsolódik, erről ismét az r_3 , r_4 , r_5 és r_6 útján az E_1 karban lévő r_7 -re, ez utóbbiról pedig az E főcsavaron lévő r_8 -ra. Ez elrendezéssel a főtengely és a csavar közé egy, két, esetleg három áttevést is igrtathatunk. Mint-hogy az O_1 és az E tengely helyhez kötött, a váltókerék elhelyezése céljából az E_1 tartó az E tengelye körül elfordíthatóan készül.

Ez elrendezésnek hátránya, hogy az áttevésekhez szükséges keréksorozat nincs az esztérgeával szoros kapcsolatban s hogy a fogaskerekek kicserélése sok időbe kerül. Újabb esztérgekon e hátrányt úgy kerülük el, hogy az áttevésekhez szükséges összes fogaskereket a E főcsavar tengelyére ékelik, amint az a 154. ábrán látható. A főtengelyről a forgást állandó áttevéssel a B kisegítő tengelyre viszik át, erről pedig a forgást



154. ábra.
Az amerikai esztérge.

a g és h kerek segítségével a főcsavaron lévő i kerékcsoportra. Hogy a g és h kerek az i kerékcsoport bármely kerekével kapcsolhatók legyenek, a g kerék hüvelye ékvezetékes és a B tengelyen az E karral eltolható. Az E kar bármely helyzetében az állványhoz rögzíthető.

A legújabb esztérgekon pedig a 153. II. ábrán látható elrendezést használják. E szerkezetnél az A és B kisegítő tengelyek mindegyikére oly keréksorozatot helyezünk el, hogy velük a szükséges áttevést biztosíthassuk. Hogy azonban több áttevésnek egyidejű bekapcsolódását kizárjuk, a kerékcsoportot csak az A tengelyre ékeljük, a B tengelyen lévőket pedig lazán hagyjuk. Ha ez utóbbiak közül egyet bekapcsolunk, az áttevés létrejön. E célból úgy a tengelybe, mint a rajta lévő kerek agyába hornyot vágunk, ebben az egy kerék szélességével egyező hosszúságú E éket toljuk azon kerék alá, amelyet bekapcsolni akarunk. Az ilykép

létesített változó forgást a B tengelyről az F, G fogaskerek útján a Cs főcsavarra visszük át.

268. Minthogy az eszterga főcsavarja az M_3 szupportot lassan mozgatja, az előkészítő műveletek gyorsítása céljából a szupportnak gyors hajtásáról is gondoskodnunk kell. E célból a szupportot oldhatóan kell a főcsavarral összekapcsolnunk. Az oldható kapcsolást elérhetjük a 153. III/a, III/b, III/c ábrán látható két részből álló csavarhüvellyel, amely az M_3 szánrésszel szoros kapcsolatban álló O rész részében, mint egyenes vezetékben mozoghat. A csavarhüvely mindkét része c csapokkal van ellátva, amelyek az e tárcsa d spiráliszerű részébe nyúlnak. Ha tehát az c tárcsát elforgatjuk, a forgásirányhoz képest a csavarhüvelyek az orsóhoz közelednek, vagy attól távolodnak.

Az oldható kapcsolást elérhetjük a 153. IV. ábrán látható elrendezéssel is. Ennél a csavarhüvely az u kúpkerékkel van összekötve, ez pedig az u_1 kúpkerékkel áll kapcsolatban. Mindkét kerék az M_3 -hoz kötött O nyulványba van beágyazva. Ha e kúpkerékek forgását megakadályozzuk pl. azáltal, hogy a forgattyút V szeggel az O -hoz kötjük, a szupport haladni kénytelen, de ha a V szeget kihúzzuk, az u_1, u_2 kerékpár foroghat, tehát a csavarhüvely is, miért is a szupport helyzetében marad. A most ismertetett elrendezésnek előnye, hogy a forgattyú segítségével a szupportot akkor is mozgathatjuk, ha a csavar áll. Az eddig ismertetett elrendezéseknél az M_3 szupport minden mozgását a főcsavar hozza létre. Ámde e gyakori használat következtében a főcsavar kopik s ekkor vezetése bizonytalan lesz. Ezt elháríthatjuk, ha az eszterga szupportját a főcsavaron kívül még más mozgató szerkezettel is ellátjuk. A 152. I. ábra szerint ezt a feladatot a G padhoz erősített K_2 fogazott rúd és az M_3 -ba erősített k fogazott kerék segítségével oldhatjuk meg.

A 152. I. ábrán még a szupportnak a megmunkálandó test forgástengelye felé irányuló δ_v mellékmozgására is látunk külön szerkezetet, t. i. a H_1 kisegítő tengelyt, amely a K_1 keréksorozat folytán forgásban tartja a H_2 ékvezetékű tengelyt. Ez utóbbiról a cs -vel jelölt kerék viszi át a mozgást a szupportot mozgató q csavarra.

269. Az előző pontban kifejtettük, hogy a mellékmozgás végzése céljából a szupportot hajtó főcsavart nagyszámú áttevéssel kell felszerelnünk. Hogy a sokféle áttevészből a leginkább megfelelőt beilleszthessük, ismernünk kell a δ_τ mellékmozgás és a főcsavar e_{cs} emelkedése, valamint a fordulatszámok közötti összefüggést. Ha ugyanis a főtengely által forgatott tárgy fordulatszáma n_f és a szükséges előretolás δ_τ , a csavar fordulatszáma pedig n_{cs} , akkor ez értékek között a következő összefüggés áll fenn:

$$n_f \delta_\tau = n_{cs} e_{cs}, \quad (233)$$

ebből:

$$\delta_\tau = \frac{n_{cs}}{n_f} \cdot e_{cs} \quad (233/a.)$$

s mert e_{cs} állandó, ennél fogva a δ_τ -hez képest az $\frac{n_{cs}}{n_f}$ áttevés változtatható. Ha pedig az eszterga oly csavar metszésére használtatik, amelynek emelkedése e_1 , akkor a 233. képletben δ_τ helyett e_1 teendő s ezzel képletünk így módosul:

$$e_1 = \frac{n_{cs}}{n_f} \cdot e_{cs}. \quad (233/b.)$$

A 152. II. ábra szerint, ha két áttevést használunk, akkor:

$$\frac{n_{cs}}{n_f} = \frac{r_1 r_3}{r_2 r_4}$$

tehát:

$$\frac{\delta_\tau}{e_{cs}} = \frac{r_1 r_3}{r_2 r_4} \quad (234.)$$

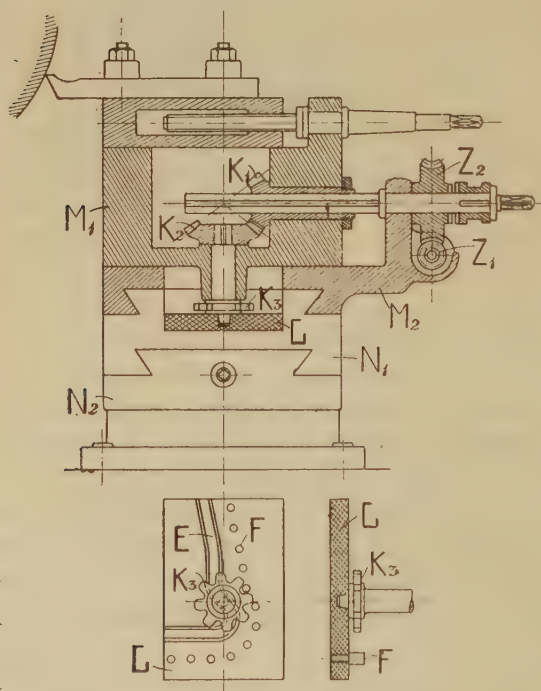
és

$$\lg \delta_\tau - \lg e_{cs} = \lg (r_1 r_3) - \lg (r_2 r_4). \quad (234/a.)$$

E képletek szerint az áttevések megválasztására szolgáló diagramm vagy logarléc megszerkesztéséhez a fogaskerek ambóit kell elsősorban kiszámítanunk és ez értékeket kell felhasználnunk. Három áttevés esetén a fogaskerek ternaóit kell kiszámítanunk s azokból állítjuk össze a logarlécet. A 153. II. és a 154. I. ábrán látható szerkezetnél az egyes

bekapcsolásoknak megfelelő δ_τ értékek a fogaskeréksorozat burkolatán vannak táblázatosan megadva. Ezeknél tehát a logarléc készítése felesleges.

270. Alakos tárgyak tömeges gyártásánál a szerzőtartó önműködő vezetéséről kell gondoskodnunk. A 155. ábrán látható szerkezetnél az $N_1 - M_3$ szupportrészek között levő csavart eltávolítjuk s ehelyett az N_1 -hez a C alakzólapot erősítjük, az M_2 -vel kapcsolatos M_1 -hez pedig egy hengeres dűcot kötünk, amely az alakzólap részébe mélyed. Ha tehát a szerzőtartó hosszirányú mellékmozgást nyer, akkor δ_τ irányú mellékmozgását az alakzólap rése által



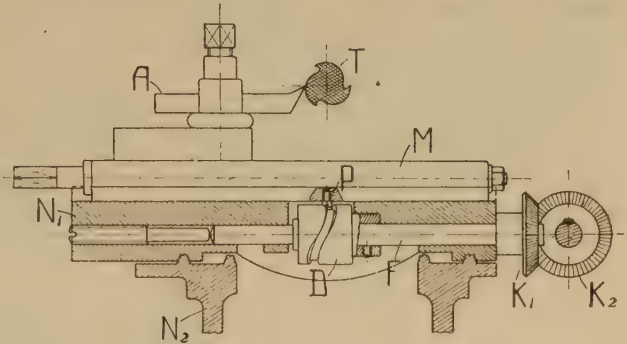
155. ábra.

Alakzó lappal irányított szupport.

meghatározott törvényszerűséggel végzi. Hogy e hengeres dúc az alakzólap sarkos részében ne ékelődjék, a K_1 K_2 kerékkel forgásban tartjuk s annak tulsó végére a pontfogazású fogaskereket, az alakzólapon pedig a réssel párhuzamosan a fogdúcokat helyez-zük el, amint azt a 155. ábrán láthatjuk.

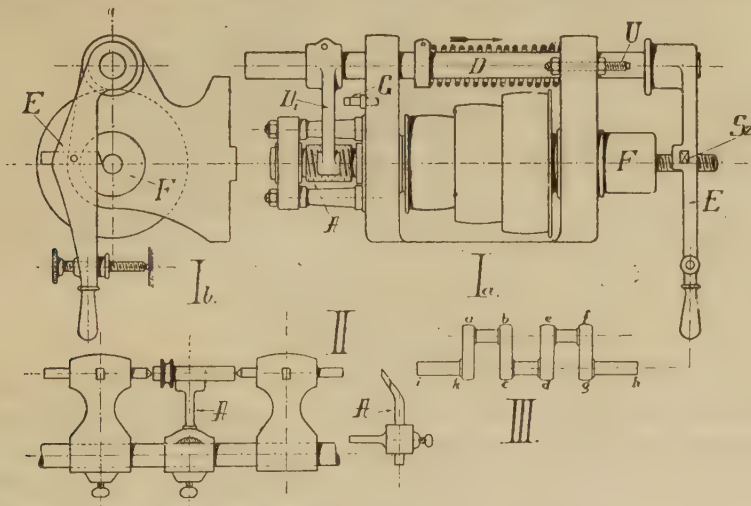
A 156. ábrán bemutatott szerkezetet marók és fúrók hátlapjának logaritmus-görbe szerint való esztergálására, az ú. n. *alámet-szésre* használjuk. E szerkezetnél a szer-számtartó M lapja az Λ lapon egyenes veze-

tékben mozog ugyan, de mozgását az N -be ágyazott F tengelytől nyeri. E tengelyen ugyanis oly D henger van ékelve, amelynek palástjába excentrikus barázdát vágunk. E barázdába mélyed az M -be erősített



156. ábra.

Alakzó-excenterrel irányított szupport, marók esztergálására.



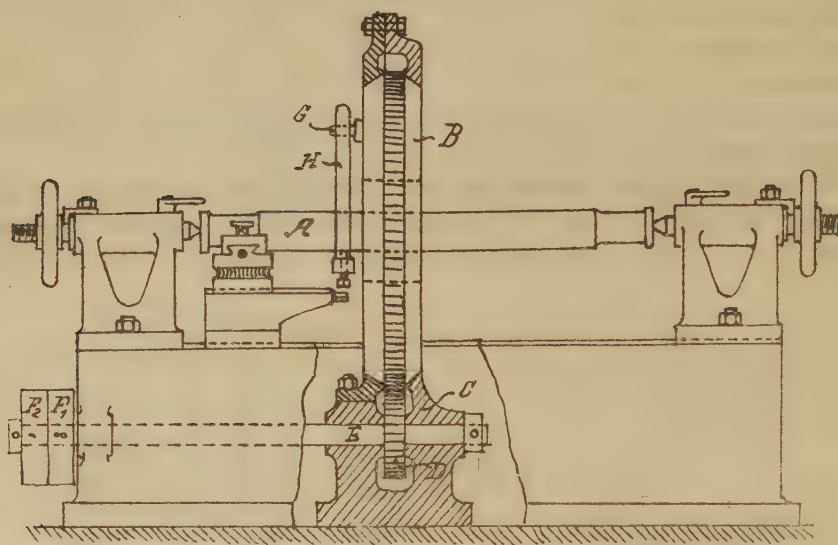
157. ábra.

A másoló-eszterga és az órás-eszterga.

P ütköző. Az *F* tengely forgása a K_1 , K_2 kerekkel olyképp végzendő, hogy az a *T* tárgy fogainak számával az egész számok viszonyában álljon. Ha például a *D* henger a tárgy egy fogosztásának megfelelően egyszer fordul meg, akkor *Z* fogszám esetén az *F* tengely *Z*-szer annyi fordulatot tesz, mint a főtengely, vagyis $Z n_f$ fordulatot.

A 157. Ia és Ib ábrán látott szerkezet a másolás elvén alapszik és csavarok készítésére használható. Ennél a párhuzamos vezetékekben mozgó D tengely egyik végére a szerszámot tartó E kart erősítjük, másik végére pedig a D_1 kart, amelyhez a csavarhüvely szelvényét kötjük. E csavarhüvely szelvénye az F főtengely végére helyezett A csavarorsóra illeszkedik s ettől nyeri mozgását, miért is a szerszám e menetmagassággal bíró csavar mását készíti el.

271. Az órásipar a nyugvó fej- és nyeregszeggel működő esztergát már régen használja, csakhogy nem gépi kivitelben, hanem csak a 157. II. ábra szerinti alakban, kézi eszközül. A tárgy forgatása céljából hűrt csavarunk a tárgyra, amelynek végeit meghajlított pálcához vonószerűen



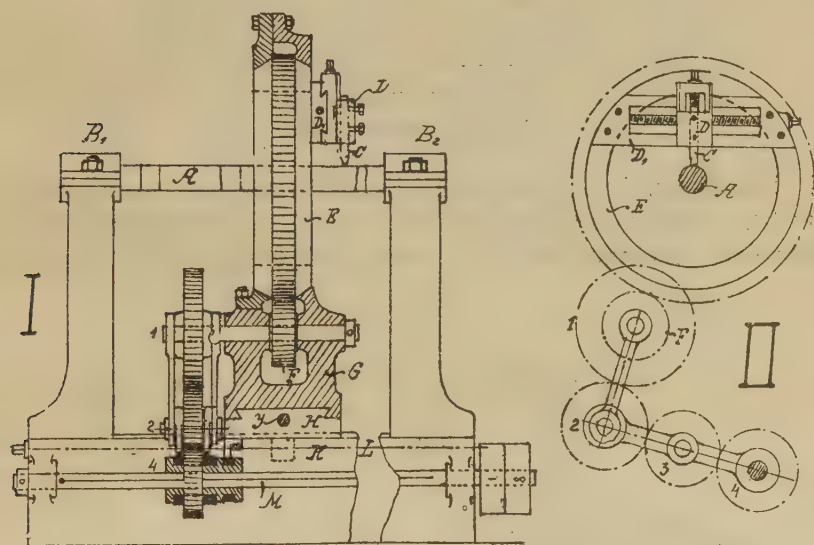
158. ábra.

A pontos tengely-eszterga.

erősítjük. Ha tehát e vonót ide-oda húzzuk, a tárgy is változó irányban forog, de mert a forgácsolás csak az egyik irányú forgásnál mehet végbe, visszaforgását surlódással meggátoljuk.

Gépi hajtás esetén a tárgyat egy irányban kell forgatnunk s ezt a 158. ábrán látott elrendezéssel úgy érjük el, hogy a nyugvó fej- és nyeregszeg közé befogott A tárgyat forgó B gyűrűvel vesszük körül, amelybe a G ütközőt erősítjük. Ez ütköző a tárgyon lévő H szorító-csavarra hat s ezzel a forgást közvetíti. A B gyűrűt C -be ágyazzuk, kerületét fogazzuk és erre az E főtengelyen levő D kereket működtetjük. Minthogy az e féle eszterga csak csapok készítésére szolgál, szupportjának útja is rövid lehet, miért is a szupportnak az eszterga padján való gépi mozgását itt nem használjuk.

272. Az előbbi pontban ismertetett esztergának egyik módosítását a 159. ábra mutatja. Amíg ugyanis az előbbinél a tárgy végezte a forgó főmozgást, addig ennél azt a szerszám végzi, miért is a tárgy mozdulatlanul áll. A tárgyat körülvevő gyűrű ennél fogva nem a tárgyat, hanem a szerszámot forgatja. Ez elrendezést, amelynek neve *gyűrűs eszterga*, többszörösen görbített tengelyek (lásd a 157. III. ábrát) esztergálására használják. Ha ugyanis e többszörösen görbített tengelyeket rendes hossz-esztergán kellene megmunkálnunk, azokat annyiszor kellene újból befognunk, ahány forgástengelyük van. Ámde e többszörös befogás, mert e forgástengelyeknek párhuzamosaknak kell lenniök, nagyon fáradságos és gondos munkát igényel, holott a 159. ábra szerinti elrendezéssel



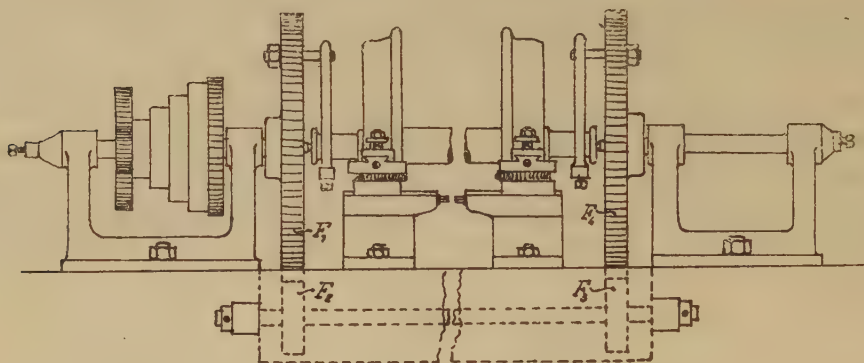
159. ábra.
A gyűrűs-eszterga.

ez a nehézség elesik, mert a szerszámot forgató gyűrű középpontját, kettős szupportja segítségével, a görbített részek forgástengelyeibe nehézség nélkül helyezhetjük el. Az ábra szerint ugyanis az *E* gyűrűt és az ezt forgató *F* fogaskereket befoglaló *G* rész a *H* szupporton sugárirányban, ez utóbbi pedig a *K* esztergapadon hosszirányban mozgatható el. Az *F* kerék forgását az *M* tengelyről a 159. II. ábrán látható 1, 2, 3, 4 kerékáttevéssel kapja, de hogy e kerekek a szupport mozgását ne gátolják, azok könyökszerűen elrendezett karokba vannak ágyazva. E könyökrendszer az *F* tengelyhez van kötve, tehát résztvesz a szupport elmozdulásában, azért a 4-es számú kerék az *M* tengelyen ékvezetékesen van elhelyezve.

Még megemlítjük, hogy a szerszám megerősítése céljából az *E* gyűrűre

a D_1 keresztartót erősítjük, amelyen szupportszerűen mozog a késtartó, amint az a 159. II. ábra felső rajzából kitűnik.

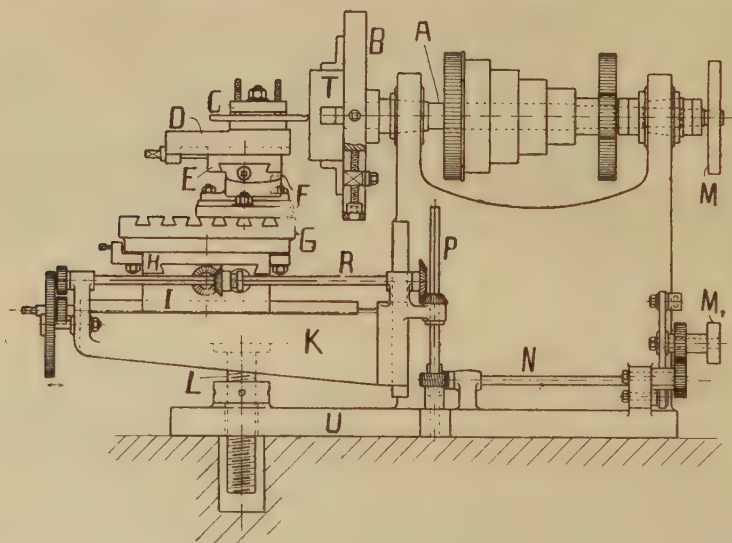
273. Vasúti kerékpárok esztergálásához a 160. ábrán látható esz-



160. ábra.

A vasúti kerék-eszterga.

tergát használjuk. É szerkezetnél a tárgyat a fej- és a nyeregszeg közé fogjuk be. A tárgy forgatása céljából a fej- és a nyeregszeg tengelyeit forgathatóan rendezzük el, t. i. a nyeregszeg tengelyét is csapágyakba



161. ábra.

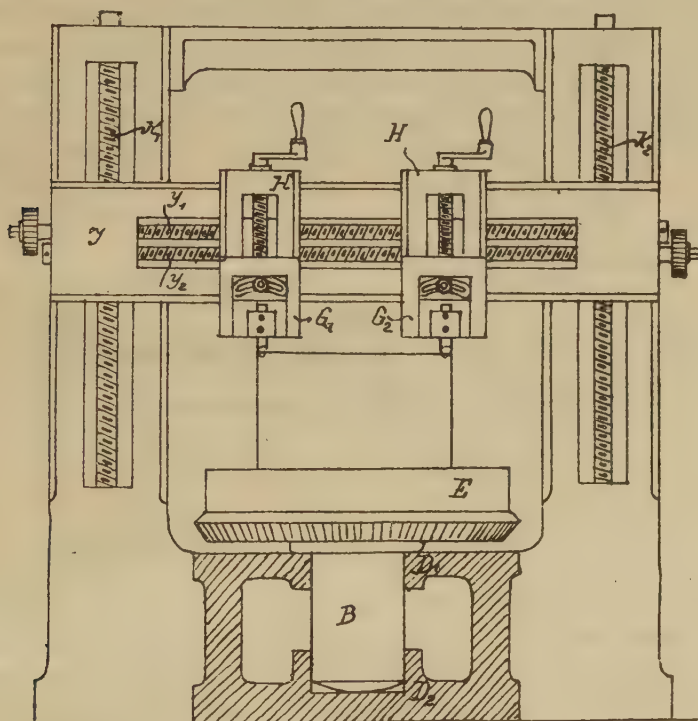
A vízszintes tengelyű fejeszterga.

tesszük s mindkét tengely végére tárcsát illesztünk, ezekbe pedig ütközőket erősítünk, amelyek a tárgy két végére erősített szívalakú szorítócsavarokra hatnak. Nehogy a tárgy elcsavarodjék, gondoskodnunk kell arról is, hogy a fej- és nyeregszeg tengelye egyforma szögsebességgel

forogjon. E célból a tárcsák kerületét fogazzuk, a motorral azonban csak a fejszeg tengelyét forgatjuk, a fejrész tárcsájára pedig a forgást az F_1 , F_2 és F_3 , F_4 fogaskerékáttevéssel a nyeregsgaz tengelyén levő tárcsára visszük át.

β_2) A fejesztergák.

274. Rövidebb tárgyak, amint már jeleztük, a fejtárcsára erősítendőek. Az ilyen tárgyak megmunkálása céljából a szupportot a fejtárcsa elé állítjuk. E célra tehát oly esztergát használunk, amely a 161. ábra szerint



162. ábra.

A függélyes tengelyű fejeszterga.

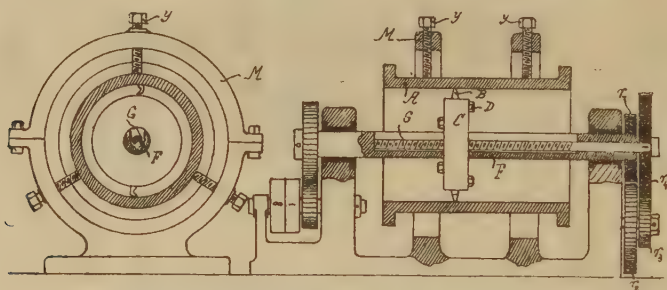
csakis fejrészből áll, amiért is ezt *fejesztergának* nevezzük. A 161. ábrán az eszterga A tengelye vízszintes fekvésű és a rendes szíjdobokkal és fogaskerékáttevéssel van felszerelve. A fejtárcsa előtt van a szupport, mely kétféle tengelyirányú és kétféle, a tengelyre normális irányú mozgást végezhet, t. i. a $D-E$ és az $I-K$, valamint az $E-F$ és a $H-I$ számrészekén, ezenkívül a G a H részen függőleges tengely körül elforgatható. A szupport csavarjainak gépies forgatása a főtengety végén levő M szíjdobbal forgatott M_1 tengelyről az N , P , R tengelyek közvetítésével történik.

Nagy méretű s nagy súllyal bíró tárgyak esztergálásához oly fej-

esztergát használunk, amelynek tárcsája 4—5 m átmérőjű; ennek forgatása a tárcsa kerületére helyezett fogazat útján történik, a lépcsős szíjdobok éppen ezért nem a főtengelyen vannak elhelyezve. Ily esztergáknál a tárcsa alatt mintegy fél méter széles árok van, hogy azon a tárcsa méretét túlhaladó átmérőjű testek is esztergálhatók legyenek. A munkateljesítmény fokozása kedvéért ez esztergákon két szupportot, azaz két szerszámot használunk.

A vízszintes tengelyű fejesztergák csapágypontjai a terhelés egyenlőtlen eloszlása következtében kopnak s ez a munka pontatlanságát vonja maga után. E káros jelenséget elháríthatjuk, ha a főtengelyt függőleges helyzetbe hozzuk.

275. A függőleges tengelyű fejeszterga lényege a 162. ábra szerint az, hogy a tárgyat a függőleges B tengelyre helyezett E tárgytartóhoz erősítjük, amelynek forgatását, kúpkerékek közbeiktatásával, vízszintes tengelyű közlőmű végzi. Minthogy a tárgy a forgó főmozgást végzi, a szer-



163. ábra.

A hengerfúró, amelynél a mellékmozgást külön csavar végzi.

számot csak mellékmozgásokkal kell ellátni. E célból függőleges és vízszintes irányban mozgatható szupportba fogjuk, ép úgy, mint ahogy azt a hosszgyalúnál tettük, csak azzal a különbséggel, hogy ez esetben a szer számnak a csap körüli kilengése elmarad. A szerszámot tehát oly laphoz kötjük, mely a szerszám ferde irányú beállítása céljából a G_1 -hez képest körívben elfordítható. A G_1 a H lapon a függőleges síkban, a H az I részen a vízszintes síkban, az I keresztartó pedig a $K_1 K_2$ tartókon a függőleges síkban mozgatható el.

γ_1) A fúrók.

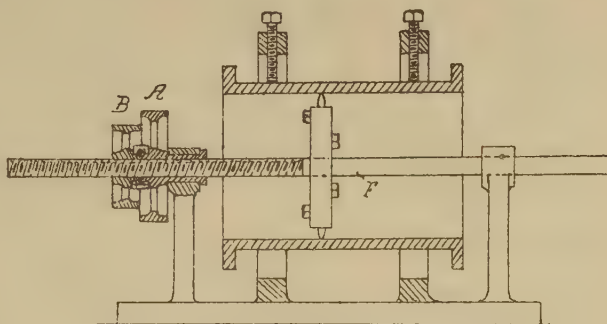
α_2) A hengerfúrók.

276. Hengerek fúrásánál a tárgy áll, a szerszám pedig a forgó főmozgáson kívül tengelyirányú mellékmozgást is végez. A 163. ábra szerint a tárgyat az M gyűrűalakú tárgytartóba központosan, az y csavarokkal fogjuk be. A szerszámot az F főtengelyre szerelt C tárcsába erősítjük, amelynek forgó és haladó mozgást adunk. E célból a C tárcsa az F tengelyen ékvezetékben mozoghat és haladó mozgását azáltal nyeri,

hogy az F -be ágyazott G csavarorsót kapcsoljuk hozzá. Minthogy a G csavar más fordulati számmal bír, mint az F tengely, a C tárcsa haladó mozgást végez. A forgásszám-különbséget a 163. ábra szerint az r_1, r_2, r_3, r_4 fogaskerék-áttevésekkel biztosítjuk.

277. Az újabb rendszerű hengerfúróknál a szerszám mellékmozgást, a csavarnak a 164. ábrán látható elrendezésével érjük el. E szerkezetnél ugyanis a szerszámtartó ékelve van az F tengelyre, miért is a mellékmozgásban a tengelynek is részt kell venni. E célból az F tengely végét csavarmenettel látjuk el és csavarhüvelyét szíjdobként képezzük ki (B), a főmozgást pedig az ékvezetékes A szíjdobbal biztosítjuk, amelynek egy toldata a csapágycsészében nyugszik. Minthogy az A és a B szíjdobok különböző átmérőjűek, fordulatszámuk is különböző s így a mellékmozgás e különbségnek megfelelőleg jut érvényre. Megemlítjük még, hogy a B szíjdob ágya, nehogy elmozdulhasson, az A -val gyűrűs kapcsolatban áll.

Hengereket különben fejesztergákon is fúrhatunk, ha a tárgyat az esztergapadjáról erősítjük, a 161. ábrán látott tengelyt ennek közepébe helyezzük, forgatását azonban a fejeszterga tengelyéről végeztetjük.



164. ábra.

A hengerfúró, amelynél a mellékmozgást a főtengelyre vágott menet végzi.

β_2) *A lyukfúrók.*

α_3) *A lyukfúró szerszámok.*

278. Lyukfúráshoz az eddig ismertetett szerszámok közül a 90° metszőszögűt használhatjuk. Ha ugyanis a szerszámot olyképp helyezzük el, hogy élének egyik vége a forgástengelybe jusson és azonfelül tengelyirányú mellékmozgással is ellátjuk, akkor az, élének hosszával egyenlő sugarú kör által bezárt felületet forgácsol. A szerszámot, hogy erősebb legyen, félkörkeresztmetszetű rúdból készítjük, amint azt a 165. I. ábra mutatja.

Az ilyen fúrot *ágyúfúró*nak nevezzük és azt a forgács könnyebb eltávolítása céljából a 165. Ia. és Ib. ábra szerint vízszintes helyzetben tartjuk, miért is a forgó főmozgást a tárggyal végeztetjük el. Minthogy a forgácsolás csakis sugárirányban, vagyis a -tól o -ig mehet végbe, a szerszámnak o -tól c -ig terjedő felületét a vízszintes oa -hoz képest szög alatt helyezzük el, az oa él hátsó lapjának pedig elhelyezési szöget is adunk.

szerszámként kezelhetők legyenek, okvetlenül egymással összefüggésbe kell hoznunk.

279. Két élt egységes szerszámként a legegyszerűbben a 165. III. ábrán jelölt elrendezéssel lehet készíteni. Ámde ekkor az élek nem követik a sugár irányát s így, ámbár metszőszögük minden pontban 90° -ú, forgácsoló hatásuk mégis kedvezőtlenebb azért, mert a haladás irányába eső erőnek csak egy komponense forgácsol, t. i. csak a $q_v = q \sin \xi$, míg a $q_\tau = q \cos \xi$ a forgácsot az élen elcsúsztatja. Ámde a ξ szög értéke a 165. III. ábra szerint így fejezhető ki:

$$\operatorname{ctg} \xi = \frac{co}{gc} = \frac{\delta}{2x}, \quad (234.)$$

ha ugyanis a szerszámpenge vastagságát δ -val, a figyelembe vett pontnak a középsíktól mért távolságát pedig x -el jelöljük.

E képletből kitűnik, hogy a középpont felé a szög rohamosan csökken, ennél fogva forgácsoló hatása is; de mert a forgács csak akkor követheti a forgácsoló erő hatását, ha $q_v > q_\tau$ -nál, ezért a forgácsolás határértéke ott van, ahol $q_v = q_\tau$, vagyis amikor $\sin \xi = \cos \xi$, tehát ha $\xi = 45^\circ$. Ezt az értéket a 234. képletbe helyettesítve, következik, hogy a forgácsolás ott szűnik meg, ahol:

$$x = \frac{1}{2} \delta. \quad (234/a.)$$

Az ily szerszám tehát a forgástengely közelében már nem forgácsol, miért is ez tömör test fűrására nem használható, hanem csak lyukak bővítésére.

Ez okból az ily fúrókat, melyek élei 180° alatt vannak elhelyezve, a forgástengely irányában csappal látjuk el, mint azt a 165. IV. és V. ábrák mutatják, miért is e fúrókat *csapos fúróknak* nevezzük.

Az élt a csaptól elkülönítve is készíthetjük, amint azt a 165. V. ábrán látjuk.

Csapos fúró metszőszögét javíthatjuk, ha mellső lapját homorúan vájjuk ki (lásd a 165. Vb. ábrát), csakhogy ekkor az él ellenállóképessége csökken, miért az efféle fúrók csak lágy anyagok fűrásánál használhatók.

280. Tömör testek fűrásához a két élt 180° -nál kisebb szög alatt kell elhelyeznünk. Az ilyen fúrót *hegyes fúrónak* nevezzük. Ennél azonban, mint a 165. VIa. és VIb. ábrából kitűnik, a forgástengely végpontjában tompaszögű *ec* él képződik, amely csak addig forgácsol, míg metszőszöge $\gamma < 90 + \beta$.

Minthogy az *ec* él a forgás tengelyére merőleges síkban mozog, haladásirányát a 165. VIa. ábrában az *xy* vonal jelzi, föltéve, hogy a mellékmozgást figyelmen kívül hagyjuk és azt, hogy az *ec* él a VIa. ábra síkjának merőlegesétől csekély szöggel tér el. Ily viszonyok között az *ec* él

metszőszögét a mellső lapnak az xy vonallal képezett szöge alkotja; ez pedig az ábra szerint így fejezhető ki:

$$\gamma_2 = 90 + \varphi/2.$$

Ennélfogva az ec él mindaddig forgácsol, amíg $90 + \varphi/2 < 90 + \beta$, vagyis amíg a szerszám csúcshöze:

$$\varphi < 2\beta. \quad (235.)$$

Ez élre azonban a mellékmozgás nagy befolyással bír, minthogy a főmozgás sebessége az él kis méreténél fogva csekély értékű. Ha azonban az xy irányú főmozgáshoz az erre normális irányú mellékmozgást geometriailag hozzáadjuk, az eredő iránya $x'y'$ lesz s mert ez az előbbi iránnyal az ábra szerint η szöget zárja be, azért a metszőszög az η értékével kisebbedik, vagyis:

$$\gamma = 90 - \eta + \varphi/2 = 90 + \beta, \quad (230.)$$

ennélfogva:

$$\varphi = 2(\beta + \eta)$$

s mert $\beta = 49^\circ - 51^\circ$, ezért a φ maximális értékét $100 \sim 110^\circ$ -ra vesszük. A mellékmozgás folytán azonban nemcsak a metszőszög, hanem az elhelyezés szöge is csökken; de mert a forgácsolás műveleténél az elhelyezés szögének legkisebb értéke 4° , ennélfogva a mellékmozgás sebessége csak addig fokozható, míg

$$\eta = 90 - \varphi/2 - 4^\circ \quad (236/a.)$$

értéket eléri.

Eddig a hegyes fúró alsó kaparó élet vettük figyelembe, vizsgáljuk most meg az ae és a bc élek hatását.

Az él haladásiirányát a 164. VIb. ábra szerint az ao sugárra normális az vonal jelzi, ennélfogva e vonalon át kell a megmunkált felületre normális síkot fektetnünk és ebben kell a metszőlapnak a haladás irányával alkotott szögét keresnünk. A 165. VIa. ábrán ez a sík az ak vonallal van jelezve, holott a 165. VIb. ábra szerinti vízszintes metszetnek a VIa. ábrában az ag vonal felel meg. E két sík által bezárt szög értéke, ha a vastagság okozta eltéréstől eltekintünk, $\varphi/2$. E két síkban érvényesülő metszőszögek viszonyát a 136. pont 136. képlete jelzi. Ha a vízszintes metszetben levő szöget γ_1 -el, az ak síkban levőt pedig γ -val jelöljük, úgy

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \gamma_1}{\cos \varphi/2}, \text{ a vízszintes metszetben az ábra szerint: } \gamma_1 = 90 + \psi, \text{ ahol}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\delta}{2x}, \text{ ennélfogva}$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} (90 + \psi)}{\cos \varphi/2}. \quad (237.)$$

E képlet szerint φ szög növelésével nő a $\operatorname{tg} \gamma$ értéke is, de mert e szög tompaszög, így a tg növelése a szög csökkenését jelenti, miért is

lehető nagy $\varphi \searrow$ -re kellene törekednünk, csak hogy ezt a csúcsonál levő ec él korlátozottan teszi lehetővé, miért is a $\varphi \searrow$ javító hatása csak a forgástengelytől távolabb fekvő pontokban észlelhető. A forgástengelyhez közelebb fekvő pontoknál ugyanis a $\psi \searrow$ oly nagy, hogy a $\varphi \searrow$ hatása ellenére a metszőszög $\gamma > 90 + \beta$. A metszőszög csökkenését ezért a ψ szög csökkentésével is törekszünk elérni. Minthogy a 234a. képlet szerint:

$$tg \psi = \frac{\delta}{2x},$$

azáltal javíthatjuk, ha a szerszám lapjának vastagságát a csúcs felé csökkentjük s mert továbbá legrosszabb viszonyok között forgácsol a két oldalélnak a csúcshoz legközelebb fekvő része, ezért ennek vastagságát még külön is csökkentjük. DR. MIKLÓSI KORNÉL kísérletei alapján kitűnt, hogy legcélszerűbb, ha a fúró lapján a 165. VIIa. s b. ábra szerint barázdát köszörüljük ki, de úgy, hogy a barázda fala a tengellyel párhuzamos legyen. A gyakorlatban a fúró csúcának kétoldalas ferde irányú leköszörülését is használják, amint azt a 165. VIIc. ábra mutatja; ezzel csökken ugyan az ec él hossza s ez az erő szempontjából kedvező, de erősen nő a csúcs melletti oldalélrész tompaszöge, ez pedig káros.

Bármely módon csökkentjük is a csúcs vastagságát, az oldaléleknek a csúcshoz közel fekvő pontjaiban a forgácsolás meddő, ez okból a szerszám e részeken a tárgyra csak nyomóhatást fejt ki; de mert a kinyomott anyag a szerszámot egyenes irányától eltéríti, ezért hegyes fúróval központos furatot nem is készíthetünk.

A szerszám legkülsőbb pontjaiban a nagy kerületi sebesség mellett a mellékmozgás kis sebessége lényegtelen befolyást okoz, ezért számításba nem vettük, kétségtelen azonban, hogy ez javítólag hat; s hogy a mellékmozgás sebességének fokozásával a forgácsolás mindaddig kedvezőbb, míg az elhelyezés szöge 4° -nál nem kisebb,

281. Az eddig ismertett csapos fúrót a hegyes fúróval egyesíteni is lehet, t. i. ha a csap helyébe kis hegyes fúrót helyezünk, úgy amint azt a 165. VIII. ábra mutatja. E fúrót *központos fúró*-nak nevezzük, mely tömör testek fúrására ép úgy használható, mint a hegyes fúró, mély furatok készítésére azonban ez sem alkalmas.

282. Az eddig ismertett fúrók hátrányát, hogy t. i. a forgácsot a furatból nem terelik ki, azáltal hárítjuk el, hogy a fúró lapját csavarfelületként képezzük ki. Ekkor a fúrót *spirális fúró*-nak nevezzük. A leg egyszerűbben úgy készítjük, hogy lapos vasat annyira csavarunk el, hogy csavarmenetének emelkedésszöge $60-65^\circ$ legyen. A fúró végét ezután kúposra leesztergáljuk s az oldalélek elhelyezés-szögéről is gondoskodunk. Célszerűbb, ha a fúró készítéséhez használt, a 165. IXa. ábrán látott téglány-keresztmetszetű lapos vas helyett a 165. IXb. ábrán bemutatott keresztmetszettel bíró használnunk, mert ennél az alaknál a tengelyhez közelebb fekvő részek vastagsága csekélyebb s így a fúró meddő része kisebb.

A spirális fúrók leggyakoribb készítési módja azonban a következő: A kilagyított acélból készült hengeres rúd elsősorban 60° -ú emelkedésű csavarmenetet vágunk, úgy hogy a fúró alakja a 165. *Xa.* és *Xb.* ábráknak feleljen meg; ezután kúposra esztergáljuk egyik végét, úgy hogy csúcsszöge $\varphi = 100^\circ \sim 110^\circ$ legyen; majd megedzzük és végre elhelyezés-szögének kiképzése céljából az $a a_1$ és a $b b_1$ vonalakkal jelölt felületeket, valamint a csúcsnál lévő oldalakat a hegyes fúrónál közölt módon letompítjuk. E fúrónak élei teljesen úgy működnek, mint a hegyes fúró élei, ezért központos furatok készítésére ez sem alkalmas.

283. A fúrók működését ismerve, erőszükségletük meghatározására térünk át. Minthogy a hegyes és a spirális fúró teljesen úgy hat, mint olyan nagyoló szerszám, melynek hajlásszöge $\vartheta = 90 - \varphi/2$, ezért az éle gyakorolt nyomást a 223. képlettel fejezhetjük ki. E képletben azonban

a b értékét a fúró átmérőjével kell kifejeznünk, vagyis $b = \frac{d}{2 \sin \varphi/2}$ ké-

plettel, a forgács vastagságát pedig a tengelyirányú mélyítő mellékmozgással δ_v -vel, vagyis $\delta = \delta_v \sin \varphi/2$ képlettel. Hogy a fúróerő képletét lehetőleg egyszerűsítsük, a 223. képlet második tagját, amely a hajlító ellenállást képviseli, kihagyjuk, mert az a forgács csekély vastagsága miatt az első taghoz képest kis értékű; a képletet továbbá még azzal is egyszerűsítjük,

hogy a metszőszög befolyását jelző $\frac{1 - \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{ctg} \beta}{\sin^2 \gamma}$ tag helyett határérté-

kes tényezőt teszünk. Minthogy a metszőszög az él minden pontjában más és más értékű s mert annak számértékét pontosan nem ismerjük, azért számításainkhoz annak valószínű közepes értékét vesszük és mert lehető nagy mellékmozgások esetén ez átlagos érték 80° -nál lejjebb alig száll le, csekély mellékmozgás esetén azonban $\gamma = 110^\circ$ is lehet, ezért a képletünkben szereplő tényező határértéke:

$$A = \frac{1 - \operatorname{ctg} \beta \operatorname{ctg} \gamma}{\sin^2 \gamma} = 0,9 \sim 1, \sim 1,18.$$

Ez alapon a fúróerő képlete így írható:

$$Q_{\max} = A 2 b \delta \sqrt{z_b q_{\max}} \sqrt{1 + \lambda_{\max}}, \quad (237.)$$

a b s δ értékeit, helyettesítése után pedig:

$$Q_{\max} = A d \delta_v \sqrt{z_b q_{\max}} \sqrt{1 + \lambda_{\max}}. \quad (237/a.)$$

E képletben:

$$\left. \begin{aligned} z_b &= \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n}}, \quad n = \frac{b}{2\delta}, \\ \text{s mert} \quad b &= \frac{d}{2 \sin \varphi/2}, \quad \delta = \delta_v \sin \varphi/2, \\ \text{így tehát:} \quad n &= \frac{d}{4 \delta_v} \frac{1}{\sin^2 \varphi/2}. \end{aligned} \right\} \quad (238.)$$

Ámde az éltre gyakorolt nyomást közvetlenül nem is mérhetjük, hanem csak a nyomatékát s ez utóbbit úgy számítjuk ki, mintha az erő eredője a fúró legnagyobb sugarú helyének végére hatna. A 237/a. képlettel kifejezett erő ugyanis egyenletesen oszlik el, ennél fogva nyomatéka:

$$\frac{Q_{\max} \cdot d}{4}, \text{ a redukált erő nyomatéka pedig: } Q_r \frac{d}{2},$$

$$\text{tehát} \quad Q_r = \frac{Q_{\max}}{2}. \quad (239.)$$

Kísérleteinknél azonban a nyomatékot nagyobb átmérőjű (D) tárcsán mérjük, miért is e D tárcsára ható Q_{kis} kísérleti erő nyomatéka így fejezhető ki:

$$M = Q_{kis} \cdot \frac{D}{2} = Q_r \frac{d}{2}. \quad (239/a.)$$

E képletből következik, hogy:

$$Q_r = Q_{kis} \frac{D}{d} \text{ és hogy } Q_{\max} = 2 \frac{D}{d} Q_{kis}. \quad (239/b.)$$

A fúróerőt ismerve, a fúró munkaszükségletét is meghatározhatjuk. Ha ugyanis a fúró percenkénti fordulatszáma n_f , akkor a hasznos munkát így fejezhetjük ki:

$$N_h = \frac{Q_r \cdot v}{75} = \frac{Q_r \cdot d \pi n_f}{75 \times 60}. \quad (240.)$$

Képleteink használhatóságának ellenőrzése céljából CODRON kísérleti eredményeit vettük figyelembe. A nevezett ugyanis különböző (φ) csúcsszöggel bíró fúrókkal, különböző anyagokkal és különböző vastagságú forgácsokkal kísérletezett s oly részletes adatokat közölt, hogy ezek alapján módunkban állott a képletünkben előforduló tényezők befolyását ellenőrizni.

Legszembetűnőbb hatása van a φ csúcsszögnek és a δ_v mélyítő mellékmozgásnak. Hogy a φ szög hatását meghatározhassuk, CODRON kísérleteiből azokat használtuk fel, amelyeknél nemcsak a forgácsolt anyag, hanem a fúró legnagyobb átmérője (d) és a mellékmozgás (δ_v) nagysága is ugyanaz volt. Szerinte bronz fúrásánál, ha $\delta_v = 0,4$ és $d = 25$ mm, a Q_{kis} erő a φ változásával a következőképpen változott:

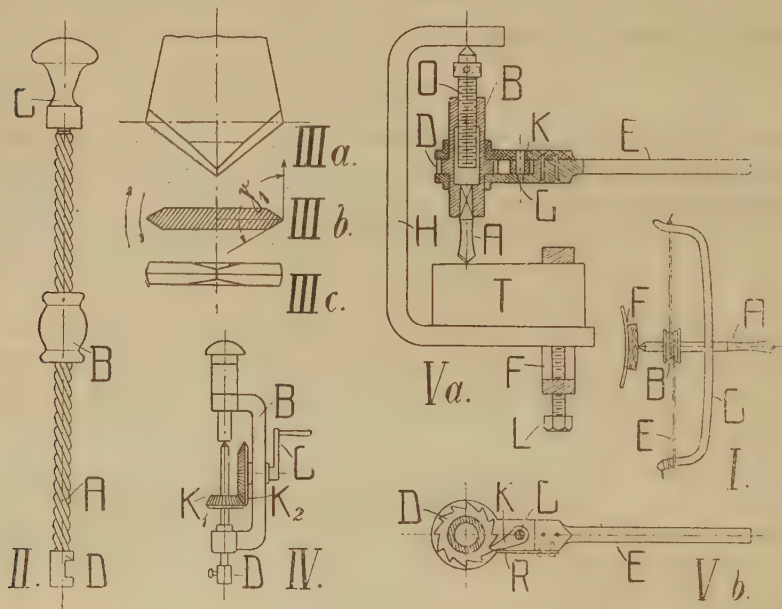
$$\begin{array}{cccccc} \varphi = & 30^\circ & 60^\circ & 90^\circ & 120^\circ & 180^\circ \\ Q_{kis} = & 52 & 37 & 32 & 31 & 30. \end{array}$$

Ámde 238. képletünk szerint a φ szög változásának egyedül az n -re, helyesebben egyedül a $\sqrt{z_b}$ -re van befolyása. Épen azért kiszámítottuk a különböző φ -nek megfelelő $\sqrt{z_b}$ értékeket s mert képletünk többi tagjai változatlanok, következik, hogy $\frac{Q_{kis}}{\sqrt{z_b}}$ hányadosnak minden φ érték-nél azonosnak kell lennie. Ezt igazolja számításunk eredménye:

$$\begin{array}{cccccc} \varphi = & 30^\circ & 60^\circ & 90^\circ & 120^\circ & 180^\circ \\ \sqrt{z_b} = & 3,02 & 2,14 & 1,77 & 1,65 & 1,54 \\ \frac{Q_{kis}}{\sqrt{z_b}} = & 17,2 & 17,3 & 18,1 & 18,8 & 19,5. \end{array}$$

Minthogy $\frac{Q_{kis}}{\sqrt{z_b}}$ értékek különbsége nem nagyobb, mint amekkorát a γ szög változása okoz, azért kimondhatjuk, hogy a φ szög befolyását a $\sqrt{z_b}$ tényező helyesen jelzi.

A δ_v befolyásának kimutatása céljából azokat a kísérleteket vettük figyelembe, amelyeknél a φ szög állandó volt, a δ_v pedig változott. Ily viszonyok között képleteink szerint δ_v ismét csak a $\sqrt{z_b}$ értékét befolyásolja, ennélfogva a $\frac{Q_{kis}}{\delta_v \sqrt{z_b}}$ hányadosnak állandónak kell lennie. CODRON kísérletei szerint bronz fúrásánál, ha $\varphi = 120^\circ$,



166. ábra.
A fúróeszközök.

	$\delta_v = 0,1$	0,2	0,3	0,4	0,5	esetén
az erő értéke;	$Q_{kis} = 11,1$	17,5	24	31	37.	
Számításaink szerint:	$\sqrt{z_b} = 2,31$	1,95	1,77	1,65	1,57,	
ennélfogva:	$\frac{Q_{kis}}{\delta_v \sqrt{z_b}} = 47,6$	45	45,2	47,0	47,1	

és mert ez értékek állandóknak tekinthetők, következik, hogy képleteink a mellékmozgásnak az erőre gyakorolt befolyását is helyesen adják meg.

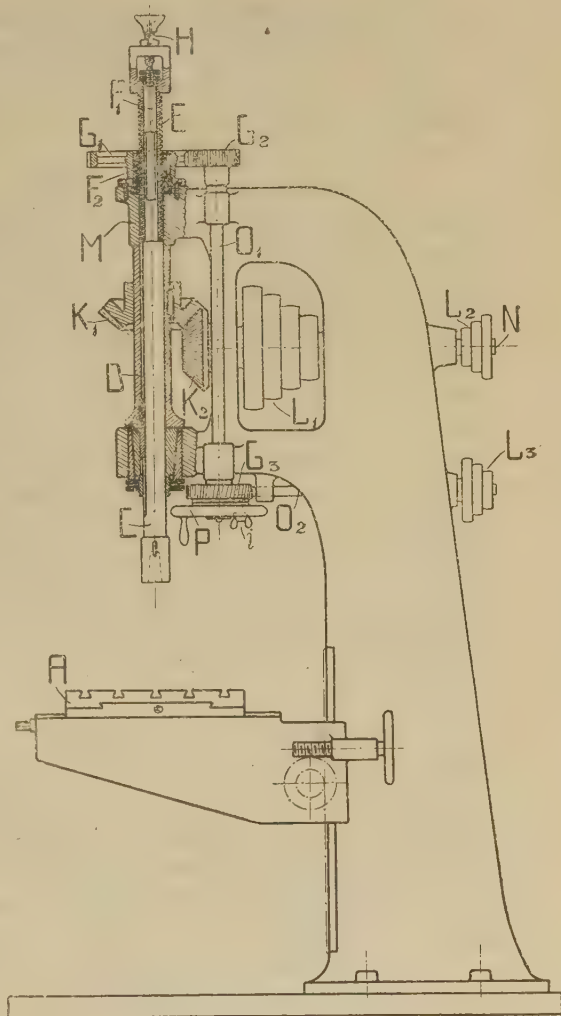
A mellékmozgásra vonatkozólag megjegyezzük, hogy azt abban a pillanatban, amikor a szerszám hegye a tárgyon áthatol, hirtelen csökkeneni kell, mert CODRON kísérletei szerint a mellékmozgás ellenállása nő a furandó tárgy keménységével és a mellékmozgás nagyságával. Mint-

hogy pedig abban a pillanatban, amikor a fúró hegye a tárgyon áthatolt, a csúcsnál levő kaparóél nyomása megszűnik, vagyis mert akkor a tárgy ellenállása hirtelen csökken, a szerszám, ha előretolása állandó sebességgel végeztetnék, oly mélyre hatolna a tárgyba, hogy eltörnék.

β₃) A lyukfúróeszközök és gépek.

284. A régibb fúróeszközök, aminők a 166. I. ábrán bemutatott *vonós fúró* és a 166. II. ábrán látható *pergőfúró*, a szerszámnak váltakozó irányú forgást adtak. Ezekhez tehát olyan fúrószerszámot kell használnunk, amely jobb és balirányú forgáskor egyaránt forgácsol. E követelménynek a 166. IIIa., IIIb. és IIIc. ábrán látható fúrószerszám tesz eleget, ennek azonban az a hátránya, hogy metszőszögének a keresztmetszet síkjára eső vetülete (γ_1) nagyobb az egy irányban működő hegyes fúróénál, miért is hatásfoka lényegesen kedvezőtlenebb. Újabban éppen ezért olyan eszközöket használnak, amelyek a szerszámot csak egy irányban forgatják. Ilyen pl. a 166. IV. ábrán bemutatott *forgattyús fúró*, amelyet csak kisméretű, sekély lyukak fúrására használhatunk, mert ennél a mellékmozgást csak a markolatra gyakorolt izomerővel fogatosítjuk. E szerkezet az egyirányú forgó főmozgást a forgattyúval kapcsolatos kúpkerek útján biztosítja.

Nagyobb furatok készítéséhez a 166. Va, Vb ábrán látható *kereplőfúrót* használjuk. E szerkezetnél a fúró egyirányú forgását a kilincsmű biztosítja. A B hüvelyen levő kilincskereket ugyanis az E karba erősített K kilincs csak egy irányban képes elforgatni. A mellékmozgás végrehajtása céljából a B hüvely felső részébe az O csavart olyképp helyezzük el, hogy szabad vége a patkóalakú H tárgytartóhoz támaszkodjék; ekkor



167. ábra.

A szabadon álló régibb szerkezetű fúró.

ugyanis a fúró, mihelyt az O csavart B hüvelyéből kicsavarjuk, a tárgyba mélyed. A most ismertetett fúróeszközök azonban csak akkor használhatók előnyösen, ha a készítendő furatok száma csekély; tömeges gyártáshoz fúrógépeket használunk.

285. A lapos és a spirális fúrók gépi hajtásához a 167. ábrán látható szabadon álló közönséges fúrógépet használjuk. Ennél a főmozgást a szerszám úgy kapja, hogy a tartójához erősített C köldök a D hüvelyben ékvezetékesen van elhelyezve és hogy a D hüvelyt a K_1 , K_2 kúpkerek útján az L_1 lépcsős szíjdobokkal felszerelt főtengelyről forgatjuk.

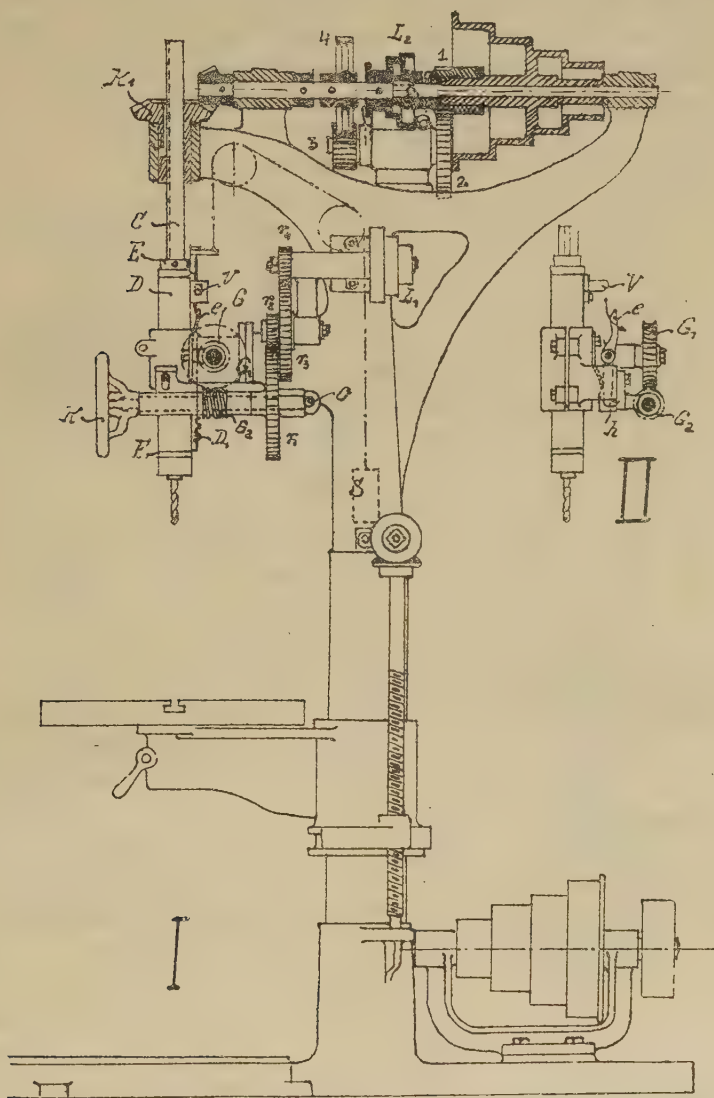
A mellékmozgás végzése céljából a C köldök felső részét annyira vékonyítjuk, hogy erre az E cső reá férjen. Az E cső köpenyét csavar-menettel látjuk el, hogy az állványban forgathatóan elrendezett F_2 csavarhüvellyel tengelyirányban mozgathassuk. E célból az F_2 csavarhüvely a G_1 homlokkerékkel van egyesítve, ez utóbbi pedig az O_1 tengelyen levő G_2 kerékkel vagy a P kézikerek útján, vagy pedig a G_3 csavarkerékkel forgatható. Ez utóbbi gépi forgatását az L_2 , L_3 lépcsős szíjdobokkal hajtott O_2 tengelytől nyeri. Hogy a fúrás befejeztével a szerszámot a furatból kihúzhassuk, az E cső haladásirányát meg kell változtatnunk, de hogy a szerszámot ekkor is magával vigye, állítógyűrűt helyezünk útjába. Hogy azonban az E cső homloklapjának a felső támasztólappal való surlódását csökkentjük, a cső végét a H kengyellel szereljük fel, ebbe pedig kúpos végű támasztócsavart illesztünk. Megemlítjük még, hogy e gépnél a tárgytartóasztal a vízszintes síkban szupportok segítségével két irányban mozgatható s hogy azonfelül az a függőleges síkban az állványon is fel és alá tolható.

286. Gyorsforgácsolóacélból készült fúrók mozgatására a 168. ábrán látható *gyorsfúrógépet* használjuk. Ennek elrendezése a következő: a szerszámtartóval kapcsolatos köldök felső C része, ellentétben az előbbi szerkezettel, eredeti vastagságát megtartja, forgását pedig az állványban forgathatóan elrendezett K_1 hüvelytől nyeri, miért is ezzel ékvezetékesen kapcsolódik. A K_1 hüvely forgását a lépcsős szíjdobokkal felszerelt főtengely eszközli.

A mellékmozgást a C köldök alsó részére helyezett D hüvely biztosítja. E célból a D hüvely az E és F gyűrűk közé van foglalva és a D_1 fogazott rúddal ellátva. Minthogy a D_1 rúd az alsó csapágyon áthalad, a hüvely nem foroghat, hanem csak tengelyirányban haladhat. Haladó mozgását a G_1 , G_2 csavarhajtás útján a K kézi keréktől vagy pedig az r_1 , r_2 , r_3 , r_4 fogaskerekektől nyeri. Ez utóbbiakat az L_1 , L_2 lépcsős szíjdobok forgatják.

E fúrógépen önműködő kikapcsoló és szerszámkiemelőszerkezet is van. Ez utóbbi lényege az, hogy a G_2 csavar tengelye az O csap körül elforgatható, miért is e tengely súlyánál fogva lejebb csúszik,

amikor is a G_2 csavar a G_1 -ből kikapcsolódik. Ha e két kerék kapcsolatát biztosítani akarjuk, G_2 kerék tengelyének elmozdulását meg kell akadályoznunk. Ezt a kétkarú eh emeltyűvel érjük el. Támasztott helyzeté-

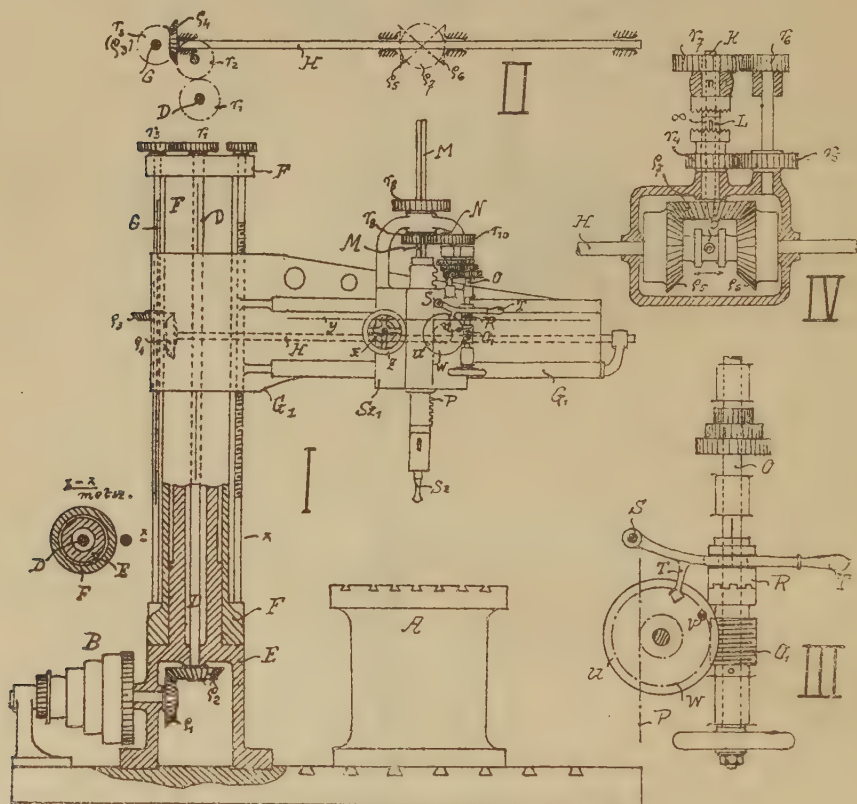


168. ábra.

A szabadon álló gyorsfúró.

ben a tengelyt mindaddig tartjuk, amíg a fúró a kívánt mélységig be nem hatolt. Ezt az időszakot a D hüvelyre erősített V ütköző úgy jelzi, hogy az e kart kimozdítja, amire a G_2 kikapcsolódik, a szerszámot pedig a D -vel kapcsolt, az állványba sülyesztett S súly a furatból kihúzza.

287. Nagyméretű tárgyak fúrásához, főleg, ha azokba számos egymástól távolabb fekvő lyukat kell fúrni, olyan fúrógépet használunk, amelynél a szerszám térbeli mozgást végezhet. Ilyen pl. a 169. I., II., III. és IV. ábrán látott *darufúrógép*. Ennél a fő- és mellékmozgást végző szerkezet éppen olyan, mint az előbbi pontban ismertetett gyorsfúrógépnél, csapágyai azonban nem az állványhoz, hanem elmozdítható laphoz erősítvék. E lapot a 169. I. ábrán Sz_1 -el jelöltük s ennek térbeli mozgást biztosítunk.



169. ábra.
A darufúrógép.

E célból az Sz_1 lapot a G_1 karon a vízszintes síkban szupportszerűen mozgathatjuk, a G_1 kart pedig az F csövön a függélyes síkban emelhetjük vagy süllyeszthetjük, azonfelül az F csövet az E oszlop körül még elforgathatóan helyezük el. Hogy a szerszám e térbeli mozgása dacára forgó főmozgását akadálytalanul elvégezhesse, a forgást lépcsős szíjdobról a fúróra a következő módon visszük át: a lépcsős szíjdobok ρ_1 , ρ_2 kerekekkel az E oszlop közepén levő D tengelyt forgatják, erről a forgás az r_1 , r_2 és r_3 kerekek útján a G tengelyre és a ρ_3 , ρ_1 kerekek útján

a H tengelyre vitetik át. A ρ_3 kerék ékvezetékes és így a G tengelyen csúszhatik, de mert agya a ρ_4 kerék agyával össze van kötve, a forgást minden helyzetében közvetíti. Minthogy ez elrendezésnél a fúró visszahúzását ellensúly segítségével nem végeztethetjük, ezt úgy oldjuk meg, hogy akkor, amikor a mellémozgást kikapcsoljuk, a fúrónak ellenkező irányú forgást adunk. A fúróforgás irányának megváltoztatását a 167. IV. ábrán látott szerkezet végzi el. E célból ugyanis a H tengelyen levő ρ_5 s ρ_6 kerekek lazán vannak a tengelyre helyezve, de egyikük mindig kapcsolódik a köztük levő ékvezetékes kapcsolószerkezettel s mert mindkét kerék az L függélyes tengelyen levő ρ_7 kúpkérékkal kapcsolódik, az L tengely jobbra vagy balra forog aszerint, amint forgását az ρ_5 -től vagy a ρ_6 -tól nyeri. Az L tengelyen két hüvely van. A felső végén levő K hüvely, amely az r_7 kereket hordja, laza, az alsó végén levő pedig, amely az r_4 kereket hordja, ékvezetékes, de mindkettő tengelykötéssel van felszerelve; ha tehát az alsót annyira felcsúsztatjuk, hogy ez a K hüvellyel kapcsolódik, akkor az r_7 kerék nagy sebességgel fog forogni, miért is ezt az áttevést a fúrónak ellenkező irányban való forgatására használjuk fel, ha pedig az r_4 hüvelyt a 169. IV. ábrán látott helyzetben tartjuk, a ρ_7 forgása az r_4 , r_5 , r_6 kerekek útján továbbíttatik, ezt a forgást fúrásnál használjuk. Minthogy az r_7 kerék a 169. I. ábrán látható r_8 kerékkal mindig kapcsolódik, az L tengely forgásirányának megváltoztatása a fúrószerszámra vitetik át.

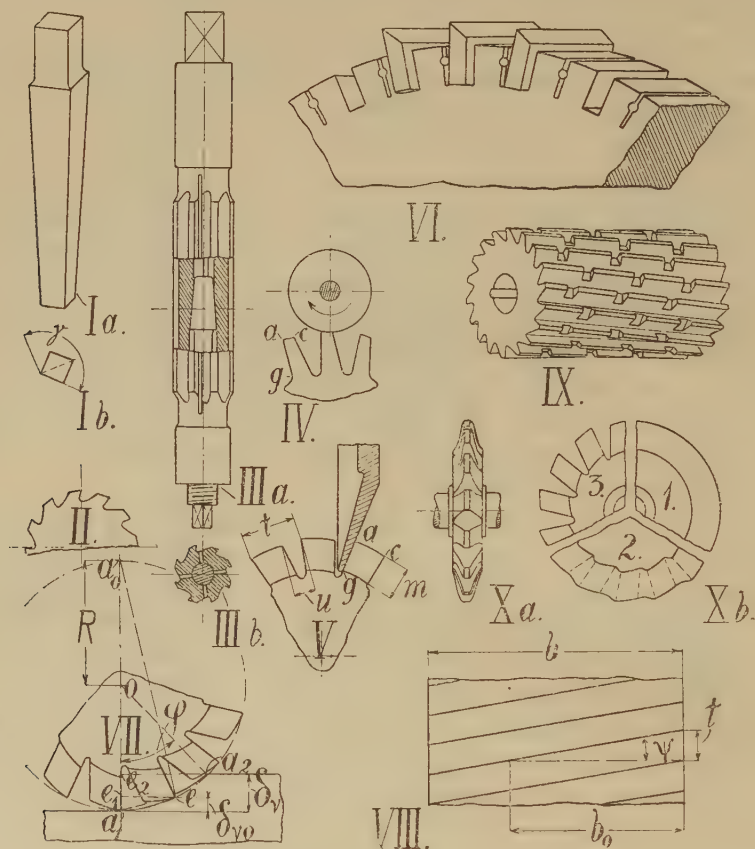
A mellémozgást úgy érjük el, hogy a forgást az r_8 kerék hüvelyével kapcsolt r_9 kerék (l a 169. I. ábrát) az N tengelyen levő r_{10} -el közli. Az N tengelyről a forgás, a rajta levő s a 169. III. ábrán szemlélhető lépcsős keréksorozat útján, az O tengelyre vitetik át, amelyre az R oldható tengelykötést szereljük rá. Ha e tengelykötést bekapcsoljuk, az O_1 csavar forgatja a W csavarkereket, miért is a szerszám a tárgyba mélyed, de amint a W csavarkereken levő V ütköző a T kart kiemeli, kikapcsolódik az R tengelykötés, a szerszám szabaddá válik és ha ugyanakkor a W forgás irányát is megváltoztatjuk, a szerszám a furatból kiemelkedik.

δ_1) *A marók.*

α_2) *A marószerszám.*

288. A marókat, kézi és gépi szerszámúl egyaránt használjuk; a kézi szerszámokat akkor, ha lyukak kismértékű bővítése a feladatunk, a gépi szerszámokat pedig akkor, ha sík, vagy alakos (profilos) felületű tárgyakat pontos méret szerint tömegesen kell gyártanunk. A marókkal ugyanis egyrészt a felület egyenlőtlenségét 0,01 mm-ig csökkenthetjük, másrészt pedig, mivel az aláesztergált marók alakja a köszörülés után sem változik, ezért ezek pontosan azonos alakú testek tömeges gyártására alkalmasak. A marókkal készült tárgyak annyira egyformák, hogy a velük készített géprészek a

szerkezetben bátran kicserélhetők, egymással helyettesíthetők s mivel továbbá a marógépek kezelése különös szakképzettséget nem igényel s a munkás közreműködése csak a tárgy befogásánál szükséges, ezért egy-egy nap-számos munkás több marógép kezelésével is megbízható s így a munka rendkívül jutányosan végezhető. Éppen ezért marókkal dolgozó gyárakban a munkáslétszám annyira csökkenthető, a gyár termelőképessége annyira



170. ábra.

A marók készítésére vonatkozó útmutatások.

fokozható, hogy pl. jól felszerelt fegyver- vagy varrógépgyárban egy-egy munkásra minden nap egy teljesen kész fegyver vagy varrógép esik.

A kézi szerszámként használt marókat a 170. I., II. és III. ábrák szemléltetik. A 170. I. ábrán látott lyuktagító négyzetkeresztmetszetű; metszőszöge az I/b ábra szerint nagyobb 90° -nál, miért is az igen rosszul forgácsol, míg a 170. II. ábra szerinti már jobban, de lyukak pontos méretre való megmunkálására ez sem alkalmas. A 170. III. ábrán bemutatott lyuksimító ellenben már pontos méretre munkálja meg a furatot. E szerszám lényege

az, hogy belül kúpos üreggel bír, amelybe kúpos véggel ellátott csavart szoríthatunk. Minthogy az élek a közbenső rések folytán rugalmasak, a csavar azokat kifelé tereli.

289. A gépi szerszámként használt marók élei a forgási test köpenyén, vagy annak homloklapján lehetnek elhelyezve. A *homlokmarók*, amint már említettük, tárcsaalakúak, a *köpenymarók* pedig hengeresek, kúposak vagy alakosak. A fémipari marók éleinek (fogainak) mellső lapját mindig sugár irányban helyezzük el (l. a 170. IV. és V. ábrán *ag* éleket), hátsó lapját régebben síknak képezték ki (l. a 170. IV. ábrán *ac-t*), újabban pedig még a sík maróknál is logaritmikus görbe szerint (l. a 170. V. ábrán *ac-t*). Ez utóbbi elrendezésnek előnye, hogy az eltompult él a sugár-irányú mellső *ag* lap köszörülésével élesíthető (l. a 170. V. ábrát), mely eljárás az alakos marók profiljának állandóságát biztosítja, azonkívül úgy ezeknél, mint sík maróknál is, az él hátsó lapjának edzett rétegét épségben tartja, holott, ha a hátlap síkalakú, élesítése a 170. IV. ábra szerint a hátsó lap leköszörülésével érhető el.

290. Az élek egymástóli távolságát, vagyis a fogosztást (t) gyakorlati adatok nyomán a sugár függvényének vesszük és pedig:

$$t = (1 \sim 1,41) \sqrt{R}. \quad (241.$$

Ezt a méretet két részre kell osztanunk, t. i. a forgács elhelyezésére szolgáló fogűrre (u) és a fogtörzsre (l. a 170. V. ábrát). A fogűrt akkorára kell készíteni, hogy abba a forgács anyaga akadály nélkül beférjen. Minthogy az egy él által leszelt, a szélesség-egységen eső forgács köbtartalma megközelítőleg $\frac{1}{2} \delta_\tau \cdot \delta_\nu$, ezért az mu szorzatot $2 \delta_\tau \cdot \delta_\nu$ -vel vehetjük egyenlővé. E kifejezésekben δ_τ az egy fogra eső előrehaladást, m a fogmélységet, δ_ν pedig a leforgácsolandó réteg vastagságát jelzi; ez utóbbinak maximális méretét a nagyolásnál megadott leválasztandó réteg vastagsága adja meg s hogy ez mekkorára csökkenthető, azt az alábbiakban fogjuk meghatározni.

A 246. pont szerint $\delta_\tau = 0,03 \sim 0,8 \text{ mm}$. Minthogy szilárdsági szempontból a fogmélységet $m = 0,935 t$ -re vesszük, a fogűr kezdeti értékét pedig, hogy a fogak túlhoszúak ne legyenek, $u = 0,25 t$ -re, ezért az $m \cdot u$ szorzat mint a t függvénye a következőképpen fejezhető ki:

$$mu = 2 \delta_\tau \delta_\nu = 0,234 t^2. \quad (241/a.$$

E képletből pedig következik, hogy a leforgácsolandó réteg vastagságának az osztáshoz való viszonya a következő:

$$t = (0,50 \sim 2,6) \sqrt{\delta_\nu}. \quad (241/b.$$

Ámde a fogűr rendszerint marókkal készítjük s csak ha az űr kisméretű, csiszoló koronggal; de mert ez utóbbi eljárásnál sem lehet nagyon keskeny réseket mélyre készítenünk, ezért u minimális mérete: $1 \sim 1,5 \text{ mm}$.

Az előbbieket szerint azonban $u = 0,25 t$, ennél fogva $t_{min} = 4 \sim 6$ mm, ez alapon a 241. képlettel az R_{min} is kiszámítható:

$$R_{min} = \frac{t^2}{1,41^2} = 8 \sim 18 \text{ mm.}$$

A t értékét a 241. képletbe helyettesítve, az elforgácsolandó réteg legkisebb vastagsága $\delta_{vmin} = 2,4$ mm. Az ennél vékonyabb rétegeket régebben oly szerszámokkal forgácsolták le, amelyeknél az élek reszelők módjára bevágással készültek. E reszelő korongok helyett ma csiszoló korongokat használunk, vagyis olyan szerszámokat, melyeknél az éleket az anyag szemcséi alkotják.

A most levezetett képletekkel meghatároztuk a maró korongok legkisebb méretét s arra az eredményre jutottunk, hogy $D_{min} = 16 \sim 36$ mm. Itt megjegyezzük, hogy az egy darabból készült maróknak átmérőjét edzés miatt 200 mm-nél nagyobbra nem vehetjük, ha tehát nagyobb maróra volna szükségünk, az éleket a 170. VI. ábra szerint foglalatosan erősítjük az edzetlen alaptestbe.

291. Az előző pontban a fogosztás meghatározásánál oly képleteket használtunk, amelyek a fognak kívánt szilárdságát biztosítják. A következőkben azokat a feltételeket fogjuk keresni, amelyekből a felület símasága függ. A felület símaságát elsősorban a forgácsoló erő hullámlásából eredő rezgések, másodsorban pedig az élek által leírt felületrészleteknek a síktól való eltérése befolyásolja. E pontban a hullámlások csökkentésével fogunk foglalkozni.

Már a nagyolásnál hangsúlyoztuk, hogy az esetben, ha a forgácsoló erő hullámlása összeesik a szerkezet önrezgésének periódusaival, a rezgések rohamosan nőnek. Ennek meggátlására a marókat nem helyezzük el szabadon a forgást végző főtengely végére, hanem ez utóbbit nyereg-szekszerű kúpos dúccal támasztjuk meg; a forgácsoló erő hullámlását pedig annak a lehetővé tételével csökkentjük, hogy a tárggyal egyidejűleg több él, nevezetesen kettőnél több érintkezzék.

Az első fogosztás által érintett felület δ_{v0} vastagsága a 170. VII. ábra szerint meghatározható az $a_0 e a_1$ derékszögű háromszögből, mert az $e e_1$ magasság az átfogóból lemetsett darabok középarányosa, tehát:

$$\overline{e e_1}^2 = \delta_{v0} (2R - \delta_{v0}). \quad (242.)$$

De ha megelégszünk közelítő értékekkel, akkor az $a_1 e$ húrt az $a_1 e$ ívvel vehetjük egyenlőnek, mikor is:

$$e e_1^2 = t^2 - \delta_{v0}^2. \quad (242/a.)$$

A 242. és a 242/a egyenletekből következik, hogy

$$\delta_{v0} = \frac{t^2}{2R}, \quad (242/b.)$$

vagy pedig hogy:

$$t = 1,41 \sqrt{\delta_{v0}} R. \quad (242/c.)$$

Ha a 242/b képletbe t -nek a 241. képlettel kifejezett értékét helyettesítjük, megkapjuk az első fogosztásra eső réteg vastagságát. Ennek értéke:

$$\delta_{v0} = \frac{(1^2 \sim 1,41^2) R}{2 R} = 0,5 \sim 1 \text{ mm.}$$

Ha tehát a leválasztandó réteg δ_v az előbbi pontban kiszámított $\delta_{v \min} = 2,5$ mm-nél nagyobb, akkor a maró teljesen nyugodtan jár, mert kettőnél több éle érintkezhetik a tárggyal, ha $\delta_v < \delta_{v \min}$, de $\delta_v > 1$ mm, akkor még egynél több él érintkezik, tehát kisebb lökések előfordulnak, de ha $\delta_v < 1$ mm, akkor időszakonként már egy él sem érintkezik a tárggyal, tehát a rezgések nagyok lesznek.

Szélesebb sík felületek megmunkálásakor vékony rétegek eltávolítását is lökésmentesen végezhetjük, ha ugyanis az éleket nem az alkotó irányában, hanem ahhoz $\psi = 8^\circ \sim 10^\circ$ szög alatt helyezzük el. Ilyenkor, amint a 171. VIII. ábrából kitűnik, abban az esetben, ha a tárgy b szélessége nagyobb a $b_0 = t \operatorname{ctg} \psi$ értéknél, még $\delta_{v0} = 0,5 - 1$ mm esetén is több fog érintkezik a tárggyal, még pedig:

$$\frac{b}{b_0} = \frac{b}{t \operatorname{ctg} \psi} \quad (243.)$$

fog; ha tehát:

$$b = (2 \sim 3) t \operatorname{ctg} \psi, \quad (243/a.)$$

akkor a maró él vékony réteget is lökésmentesen fog forgácsolni.

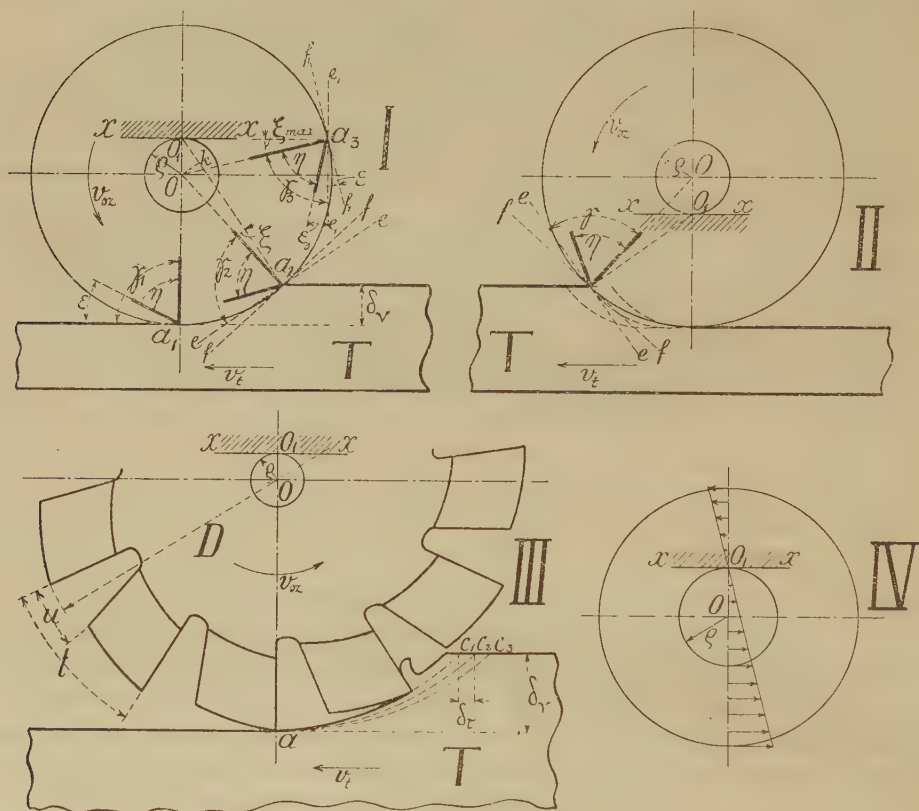
A ferde elrendezésnek még további előnyei is vannak; a 136. pont szerint ez a metsző szöget csökkenti és a forgácsot az egyik oldalra tereli (l. a 61. VII. ábrát), hátránya azonban, hogy az erőszükségletet növeli, mert a forgács szélessége nő s ezzel $\sqrt{z_b}$ értéke is. Ez utóbb említett káros jelenséget csökkenthetjük, ha a marók éleit helyenként megszakítjuk, amint ezt a 170. IX. ábra mutatja.

Ezek után a metsző szög meghatározására térünk át.

292. A marókkal megmunkált felület símasága, mint az előző pontban kifejtettük, a metsző szög nagyságától is függ. Minthogy a fémipari marók nagy ellenhatást kénytelenek legyőzni, ékszögüket lehetőleg nagyra kell készíteni. Hogy ennek eleget tehessünk, az élek mellső lapjait sugár irányban, hátsó lapjait pedig az elhelyezési szögnek megfelelően helyezzük el. Az ékszög (η) nagysága ennél fogva: $\eta = 90 - \epsilon$.

Ha a marók csupán forgómozgást végeznének, haladásuk irányát a körhöz húzott érintő adná meg, ekkor tehát metsző szögük 90° volna; de mert a tárgy a szerszám felé közeledik, az élek relatív elmozdulása olyan, mintha a maró végezné a forgó és a haladó mozgást. Az élek tehát meghosszabbított cikloist írnak le s így a metsző szöget a mellső lap a ciklois

érintőjével alkotja. Ámde a ciklois érintője a mellső laphoz képest igen változó irányú, amiből következik, hogy a metsző szög is változik. Értéke a 171. I. ábra szerint a következőképen határozható meg. Az R sugarú marónak forgó főmozgásából eredő sebessége így fejezhető ki: $v_{sz} = \frac{2 R \pi n}{60}$; a haladó mellékmozgás v_t sebességét pedig a ρ sugarú kör kerületi sebes-



171. ábra.
A marók hatása.

ségének függvényeként így írhatjuk: $v_t = \frac{2 \rho \pi n}{60}$. Mindkét képletben n a maró fordulatszámát jelenti. E két sebesség viszonya:

$$\frac{v_{sz}}{v_t} = \frac{R}{\rho}. \quad (244.)$$

Ebből tehát a görbülő kör ρ sugara meghatározható. Már most a 171. I. ábra szerint megrajzoljuk a maró tengelye o középpontjából az R és ρ sugarú köröket és meghúzzuk a ρ sugarú körhöz a haladás irányát követő xx érintőt; s mert ennek o_1 érintő pontja a ciklois momentán forgási

pontja, a haladás irányát megkapjuk, ha az élt összekötjük az o_1 momentán forgás-ponttal és ha e sugárra normálist húzunk. E haladás iránya alkotja az él mellső lapjával a γ metsző szöget. Minthogy az a_1 pontban a momentán haladás iránya összeesik az R sugarú kör érintőjével, e pontban a metsző szög $\gamma_1 = 90^\circ$, de mert az a_2 pontban az $o_1 a_2$ sugárra normális ee az $o a_2$ mellső lapra normális ff vonallal ξ szöget zár be, ennél fogva a metsző szög:

$$\gamma_2 = 90 - \xi, \quad (245.)$$

és az elhelyezési szög:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon - \xi. \quad (245/a.)$$

Minthogy mindkét szög a ξ szögtől függ, fejezzük ki ez utóbbit a szerző szám méretével. A 171. I. ábra szerint ugyanis: $ok = R \sin \xi = \rho \sin \varphi_1$; ha az $a_1 o_1 a_2$ szöget φ_1 -el jelöljük, ebből:

$$\sin \xi = \frac{\rho}{R} \sin \varphi_1 = \frac{v_t}{v_{sz}} \sin \varphi_1. \quad (246.)$$

E képlet szerint $\sin \xi$ a $\sin \varphi_1$ értékével nő. Ámde $\sin \varphi_1$ a maximális értékét az a_3 -ban, vagyis ott éri el, ahol az xx egyenes az R sugarú kört metszi. Ekkor $\varphi_1 = 90^\circ$ s így:

$$\sin \xi_{\max} = \frac{\rho}{R}. \quad (246/a.)$$

A metsző szög szempontjából a ξ szög növelése előnyös, de az elhelyezési szög szempontjából ez csak addig jár előnnyel, míg

$$\varepsilon_1 = \varepsilon - \xi \quad (246/b.)$$

2° -nál kisebb nem lesz, mert ha ennél kisebb, akkor a súrlódás nagy és ha $\varepsilon_1 = 0$, akkor a forgácsolás teljesen megszűnik.

A ξ szög legkedvezőbb értéke tehát:

$$\xi = \varepsilon - 2^\circ,$$

s mert ε szögnek a 245. pont XXXIII. táblázatában közölt legnagyobb értékei:

	acélnál	kov. vasnál	öntött vasnál	réznél	lágú fémnél
$\varepsilon =$	6°	7°	8°	9°	10°

így ezzel ξ legnagyobb értéke is meg van határozva.

Ezt figyelembe véve a 246. képletet így írhatjuk:

$$\frac{v_{sz}}{v_t} = \frac{\sin \varphi_1}{\sin (\varepsilon - 2^\circ)}; \quad (246/c.)$$

az e képletben szereplő φ_1 ismert értékkel kifejezhető, mert az $o_1 o a_2$ háromszögből, mivel szögeinek összege 180° , vagyis $\varphi_1 + (180 - \varphi) + \xi = 180^\circ$, ha az $a_1 o a_1$ szöget φ -vel jelöljük; ebből:

$$\varphi_1 = \varphi - \xi = \varphi - \varepsilon + 2^\circ,$$

ennélfogva:

$$\frac{v_{sz}}{v_t} = \frac{\sin(\varphi - \varepsilon + 2^0)}{\sin(\varepsilon - 2^0)}, \quad (246/d.)$$

a φ értéke pedig a 170. VII. ábrából az $a_2 o e_2$ háromszögből így fejezhető ki:

$$\cos \varphi = \frac{R - \delta_v}{R}. \quad (247.)$$

A megmunkált felület símasága végre az egyes élek által leírt meghosszabbított ciklois-pályák metszéspontjának helyzetétől is függ. Ez az oka annak, hogy a marókkal megmunkált felületek, ha a szerszám rezgéseit teljesen ki küszöböljük is, még sem lehetnek síkok, hanem hullámos felületek. A hullám legmélyebb pontját az élek a 171. III. ábrán a ponttal jelölt helyzete határozza meg, legmagasabb pontja pedig ettől annál nagyobb mértékben tér el, mennél nagyobb az egy fogosztásra eső ∂_τ mellékmozgás. Ez utóbbi értéket megkapjuk, ha v_t sebességet osztjuk a másodperc alatt átmetsző élek számával: $\frac{v_{sz}}{t}$. Az egy fogra eső fogosztás tehát:

$$\partial_\tau = \frac{v_t}{v_{sz}} t. \quad (248)$$

Ez okból a tárgy mellékmozgását nemcsak a ξ szög, hanem a megmunkálandó felület egyenlőtlenségi foka szempontjából is kell megállapítanunk.

293. Minthogy a marók fő- és mellékmozgásának viszonylagos haladási iránya a 171. I. ábra szerint kétféle lehet, ezért ezekkel is kell foglalkoznunk. Ha ugyanis a gördülő kör pályáját a tárgytól legtávolabbi helyezzük el (l. a 171. I. és III. ábrát), az él a ∂_v réteg legmélyebb pontján a legkisebb forgácsvastagsággal kezdi meg munkáját, tovahaladtában azonban fokozatosan szélesebb forgácsot szel, holott, ha a gördülő kör pályája a tárgyhoz legközelebb áll (l. a 171. II. ábrát), akkor a maró a külső rétegen kezdi munkáját, még pedig a legnagyobb forgácsvastagsággal. Öntött vasnál, mivel külső rétege többé-kevésbé mindig kérges, a 171. I. és III. ábrán látott elrendezést kell használnunk, egyforma keménységű anyagoknál azonban mindkét mód használható, de a fémiparban a 171. III. ábra szerinti elrendezés a gyakoribb.

294. Az eddigiekben a palástmarót vettük figyelembe, térjünk most át a homlokmarókra. Homlokmarónál, ha a tárgy jobbról balra halad, azok az élek, amelyek a 171. IV. ábra szerint a gördülő kör xx pályája alatt vannak, jobb irányban, az e fölött levők pedig bal irányban haladva forgácsolnak. Amde ha a tárgy haladásának irányát megváltoztatja, akkor a ρ sugarú kör gördülő pályája a 171. II. ábra szerinti helyzetbe, vagyis

az alsó érintkező pontba jut, de ekkor az érintkező pont felett levő éleknek bal irányban kell forgácsolniok. A ρ sugarú kör által bezárt éleknek tehát két irányban kellene forgácsolniok, de mert e feladatnak csak tompa élek tesznek eleget, az ilyenek hatása pedig kedvezőtlen, azért a homlok-maróknál a ρ sugarú kör által bezárt éleket teljesen elhagyjuk és csak a $R - \rho$ gyűrűt látjuk el 90° élekkel.

295. A marók erőszükségletét a 237. képlet alapján számíthatjuk ki. Az ebben előforduló A tényező számértéke: 0,96, mert fémeknél $\gamma = 90^\circ - 3^\circ$ -ra vehető. Az élek száma azonban a 237. képlettől eltérően nem kettő, hanem $\frac{R\varphi}{t}$, s mert az egy él által leszelt forgács vastagsága $(0 \sim \delta_\tau) \sin \varphi$ között változik, átlagban tehát $\frac{\delta_\tau}{2} \sin \varphi$, ezért a 237. képlet így módosul:

$$Q_{max} = 0,96 \, b \, \frac{\delta_\tau}{2} \sin \varphi \, \frac{R\varphi}{t} \sqrt{z_b} \, q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \quad (249.)$$

A 248. képlet szerint azonban:

$$v_t = \frac{v_{sz}}{t} \cdot \delta_\tau, \text{ ebből } \frac{\delta_\tau}{t} = \frac{v_t}{v_{sz}} \text{ és mert } \delta_t \sin \varphi R \varphi = \delta_t \delta_v$$

ezért, ha ez értékeket a 249. képletbe helyettesítjük, ez így módosul:

$$Q_{max} = \frac{0,96}{2} \cdot b \cdot \frac{v_t}{v_{sz}} \cdot \delta_v \sqrt{z_b} \, q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \quad (249/a.)$$

A lóerőkben kifejezett hasznos munka képlete pedig:

$$N_h = \frac{Q_{max} \cdot v_{sz}}{75} = \frac{0,48}{75} \cdot b \cdot v_t \delta_v \sqrt{z_b} \, q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \quad (250.)$$

E képlet szerint a marómunka munkaszükséglete az elforgácsolt anyag $(b \delta_v v_t)$ köbtartalmával arányos.

Az erő és munka képletében előforduló z_b értéke:

$$z_b = \sqrt{\frac{(n_b - 1)(n_b - 2)}{6 n_b}} \quad (251.)$$

és az ebben előforduló n_b közelítő értéke:

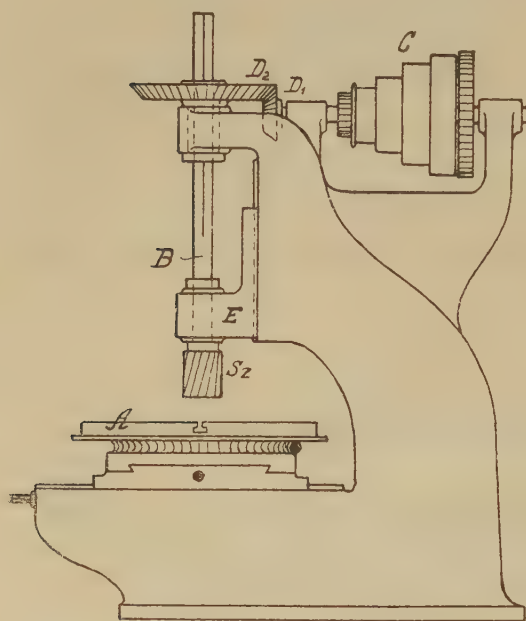
$$n_b = \frac{b}{\delta_t} \quad (251/a.)$$

β_2) A marógépek leírása.

296. A szerkezetek alkotórészeinek illesztéséhez kisebb megmunkált felületeket, ú. n. *munkaléceket* használunk. Ezek egyengetését és simítását oly maróval végezzük, amely egyidejűleg munkálja meg a lécs vízszintes és függőleges felületét, vagyis a kombinált palásthomlokmarót. Az efféle marót, mint ez a 172. ábrából kitűnik, a főtengelyre szabadonfutóvá helyezük el. A *B* tengely forgatását D_1 , D_2 kúpkerek útján a lépcsős szíjdobokkal felszerelt *C* tengely végzi. A D_2 kúpkerek agya az állványban

forgathatóan van beágyazva, ebben a *B* tengely ékvezetékesen mozoghat. A *B* tengelyt a tárgy vastagságának megfelelően a függőleges síkban az *E* szánszerkezettel mozgathatjuk. A tárgyat az *A* jelű tárgytartó asztalhoz erősítjük, ez utóbbi két irányban haladó szupporttal és egy csavarkerékkel van felszerelve.

297. Sík és alakos felületek megmunkálásához a 173. ábrán vázolt *egyetemes, univerzális marógépet* használjuk. E gépnél a marószerszámot (*Sz*) kurta tengelyre erősítjük, amelynek vastagabb végét a főtengely kúpos furatába mélyítjük, vékonyabb végét pedig az *U* elmozdítható karban levő kúpos végű csavarral nyereg-szegként támasztjuk.



172. ábra.

A függélyes tengelyű maró.

A tárgyat az *S* tárgytartó asztalra erősítjük, amelyet szupportokkal a vízszintes síkban két irányban mozgathatunk, azonfelül azt függőleges tengely körül is elfordíthatjuk s végre, hogy a tárgyat vastagságának megfelelően a szerszámhoz közelebb vagy távolabb helyezhessük el, a függélyes irányban is szupportszerű szerkezettel szereljük fel.

A mellékmozgás gépies hajtását az *R* lépcsős szíjdobok végzik.

298. Fogazott homlokkerekek készítéséhez az univerzális marót a 174. I., II. és III. ábrán látható szerkezettel kell felszerelnünk. A fogaskerekeket ugyanis tárcsából készítjük, s mert rendszerint több egyforma kerékre van szükségünk, több tárcsát közös tengelyre (*A*) fűzünk, e tengelyt az *S* tárgytartólapra erősített *M* fejszeg- és *N* nyeregsegtartóba foglalt

B_1 , B_2 fej- és nyeregszeg közé fogjuk be. Mindaddig, amíg a maró az első fogat az összes tárcsákon végig ki nem marta, a fejszeg mozdulatlanul tartandó; ezután azonban a fejszeget egy fogosztásnak megfelelő központi szöggel kell elforgatnunk.

Hogy a fejszegnek elforgatását pontos méret szerint végezhessük, erre külön szerkezetre van szükségünk.

E célból az univerzális maróknál a fejszeg tengelyének végére a C csavarkerekeket ékeljük, ezt pedig a 174. II. ábra szerint a P tengelyen levő D csavarral mozgatjuk.)*

Ez elrendezés következtében a fejszeg B tengelye és a P tengely között az áttevés viszonya

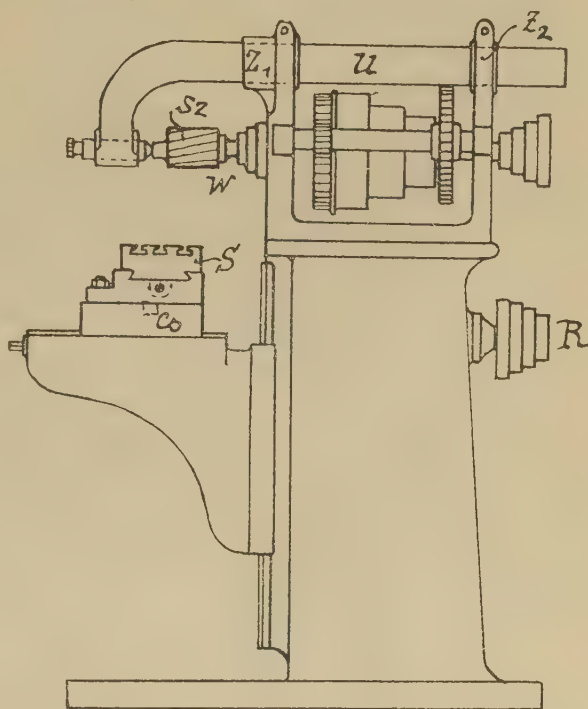
$$\left(\frac{1}{a}\right) \text{ állandó és ez: } = \\ = \frac{1}{15} \sim \frac{1}{30} = \frac{1}{a} \text{ szokott}$$

lenni. Ha a készítendő fogaskerék F fogszáma megegyezik az a számmal, akkor minden fog után a P tengelynek egy teljes körülforgás adandó,

de ha $\frac{a}{F} = 2, 3 \dots$ stb.

egész szám, akkor a P tengely is két-három körülforgást nyer, végül ha az F fogszám nagyobb az a áttevésnél, vagyis ha

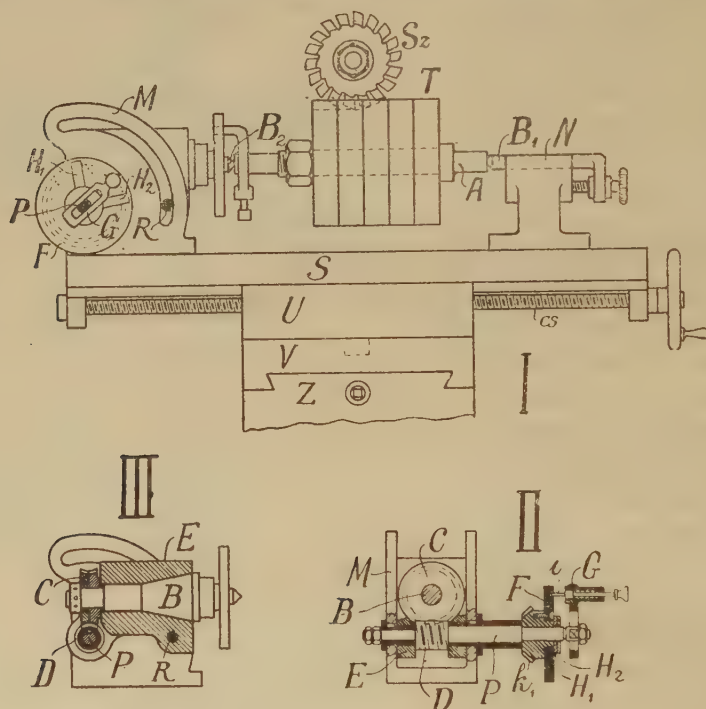
$\frac{a}{F} = x$ hányados kisebb az egységnél, akkor a P tengelyt is egy körülforgásnak csak x -ed részével kell elforgatnunk. Minthogy a P tengely elforgatását a G forgattyúval kézzel végezzük, az elforgatás mértékének pontos és gyors megfigyelése céljából a G forgattyúval szemben az állványhoz F_1 osztótárcsát erősítjük.



173. ábra.
Egyetemes marógép.

*) Kúpos felületek megmunkálásakor a fejszeg tengelye a maró tengelyéhez képest a kúposágnak megfelelő szög alatt helyezendő el. E célból, mint ez a 174. III. ábrából kitűnik, a fejszeg csapágya a P tengely körül elforgatható anélkül, hogy a C és D közötti kapcsolat megszűnnék. Ilyenkor, hogy a teljes kúpköpeny megmunkálható legyen, a P tengely a k_1 kerék útján állandóan forgásban tartható.

Az F' osztó tárcsa felületét a 174. I. ábra szerint számos központos kör borítja. Minden kör több részre van osztva, még pedig annyira, amennyit a körön lévő szám jelez. Jelöljük e számokat $b_1, b_2, b_3 \dots$ stb.-vel. Ezek reciprok értékei $\frac{1}{b_1}, \frac{1}{b_2} \dots$ stb. jelzik, hogy a P tengely egy körülforrásnak hányadrészét végzi, ha a G forgattyút egy osztással tovább mozgatjuk. Minthogy pedig az x hányados a P tengelynek szükséges elfordulását jelenti, következik, hogy ez elforgatás mértékéül azt a kört használ-



174. ábra.

Fogazott kereknek univerzális marón való készítése.

hatjuk, amelynél az x az egy osztásra eső $\left(\frac{1}{b}\right)$ hányadosnak egész számú (e) sokszoros, vagyis, amelynél

$$x = e \cdot \frac{1}{b},$$

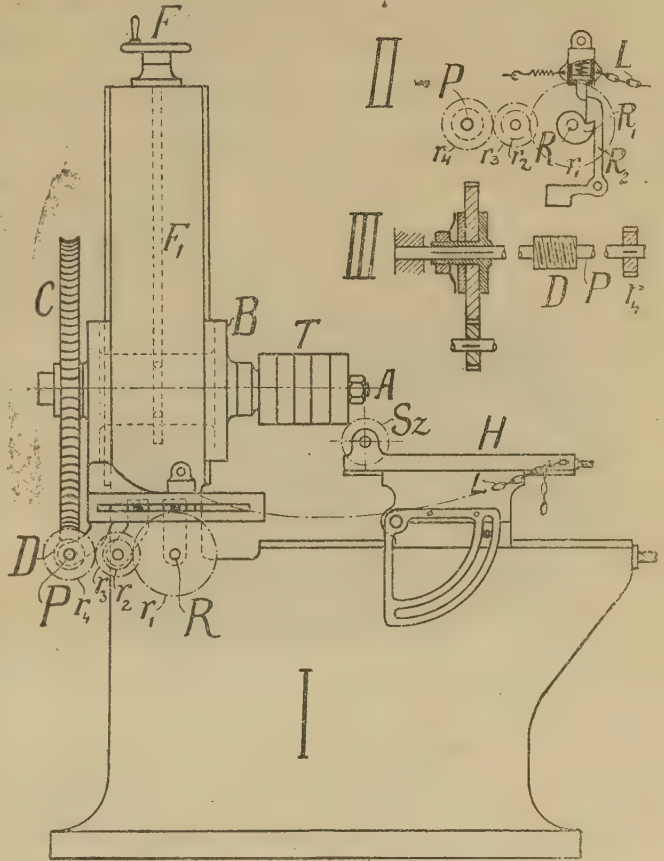
más szóval, azt a kört, amelyre vonatkozólag az alábbi szorzat egész szám:

$$bx = \frac{b \cdot a}{F} = e. \quad (252)$$

Ezt a kérdéses kört a sok közül így választjuk ki: megkeressük azt az osztó kört, amelynek a hozzátartozó osztószáma (b) az $\frac{a}{F}$ hányados-

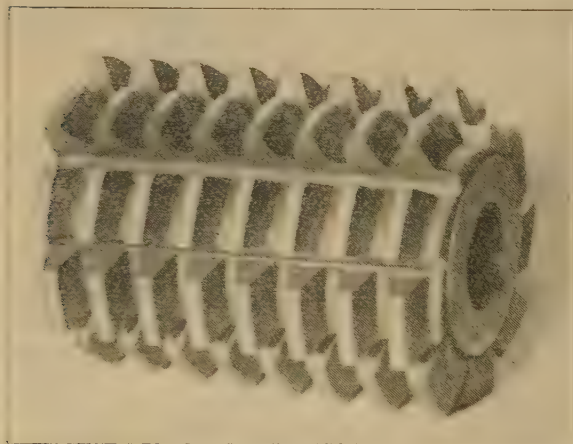
sal szorozva egész számot eredményez. Ha a tárcsán levő körök indexei ennek a követelménynek nem felelnek meg, úgy ez annak a jele, hogy a tárcsával a kívánt (F) fogszámú fogaskereket nem készíthetjük el, ilyenkor tehát vagy más tárcsát kell használnunk, vagy pedig a fogak számát kell némileg megváltoztatnunk. Feltéve már most, hogy találtunk olyan kört, amelynek indexe a fenti követelménynek eleget tesz, a forgattyú karját a P tengely csapján annyira fel-, avagy letoljuk, hogy az annak végén levő i dúc hegye e körön levő osztó pontba mélyedjen. Ezután pedig az F tárcsán levő H_1, H_2 szögcsárákat oly helyzetben rögzítjük egymáshoz, hogy a kérdéses körön a szükséges e osztásokat határolják. Ily állapotban e szögcsárák nyílása változatlan marad, de együttesen elcsúsztathatók. A munka kezdetén H_1 szögcsárat toljuk az i percekhez. Az első fog elkészülte után a G forgattyút a H_1 -től a H_2 -ig forgatjuk el, azután a H_1 és H_2 szögcsárákat annyira eltoljuk, hogy ismét a H_1 érintkezék az i -vel, a második fog elkészülte után a G forgattyút ismét a H_2 -ig toljuk el és így tovább.

299. Fogaskerek tömeges gyártásához az egytetemes marógép helyett a 175. ábrán látott különleges marógépet használjuk. Ezen a marandó T tárcsák ép úgy, mint az egytetemesnél, az A vízszintes tengelyre vannak erősítve, e tengelyt pedig a C tárcsa útján időszakosan forgatjuk el. Ámde az elforgatást már nem kézzel, hanem gépi úton végezzük s e célból a következő elrendezést használjuk: Az A tengely végén levő C csavarkerek a P tengelyen levő D csavarral áll kapcsolatban. Forgását a P tengely



175. ábra.
Fogaskerék-maró.

az R tengelytől nyeri, amely a gép főtengelyével surlódva kapcsolódik és így állandóan a forgató erő hatása alatt áll; de nem forog szüntelenül, hanem csak addig, míg a rajta levő R_1 excenter az R_2 kilincsbe bele nem akad. Hogy ismét forgásba hozzassuk, az R_2 kilincset a marószerszám H szupportjával láncsal kapcsoljuk össze. Mihelyt a szupport annyira haladt, hogy a lánc kifeszül, az R_2 kikapcsolódik és az R tengely forogni kezd. Egy teljes körülforgás után azonban R_1 és R_2 ismét kapcsolódik, az R tengely viszont újból megáll. A feladat már most abban áll, hogy az R tengely egy teljes körülforgása következtében a P tengely egy körülforgásnak csak az $x = \frac{a}{F}$ részét végezze, ezt pedig a 175. ábrán látott r_1, r_2, r_3, r_4 fogaskerékáttevéssel mindenkor elérhetjük, ha e célra elegendő fogaskerék áll rendelkezésünkre. E fogaskerekkel elérhető áttevéseket kiszámítjuk, értékeiből pedig táblázatot készítünk. Végre megemlítjük, hogy a tárgytartó A tengely a B szupport segítségével az F_1 állványon a függőleges síkban mozgítható el.



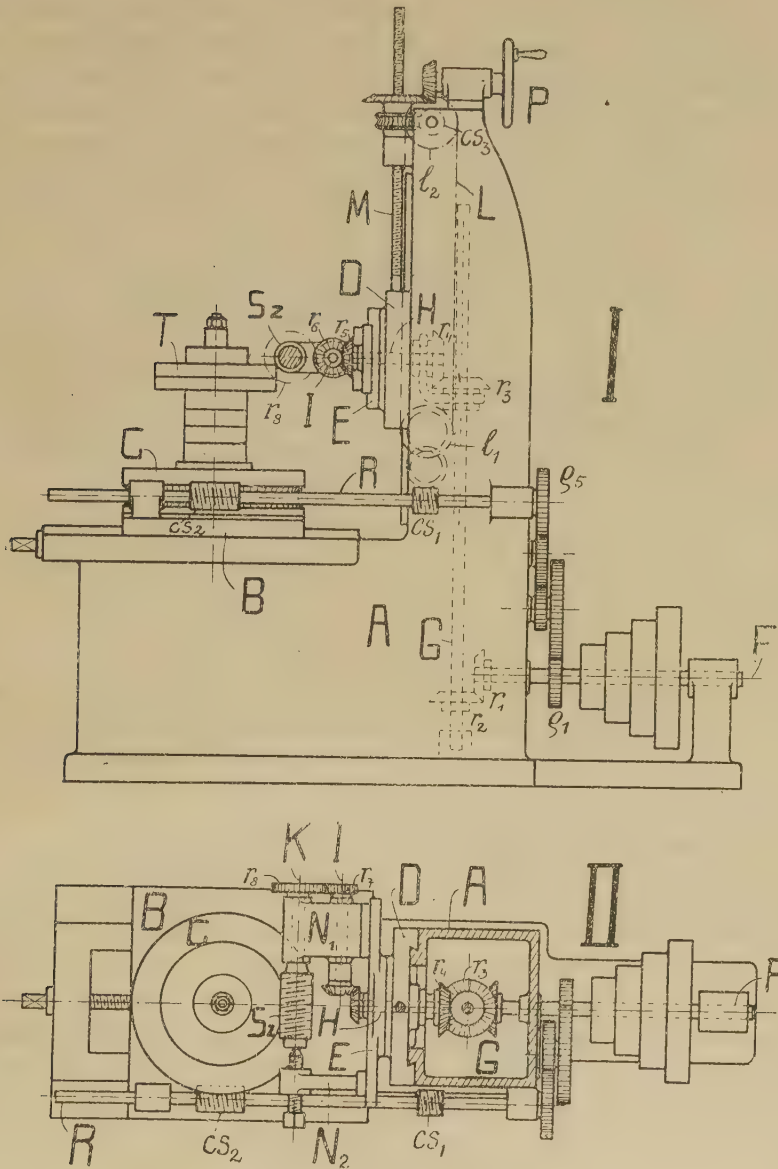
176. ábra.
Csavar alakú maró.

gyított acélból való tárcsát a fog profiljának megfelelően esztergáljuk (l. 170. X. b. ábrát), ezután az elhelyezés szögének biztosítása céljából a 156. ábrán látott szupport segítségével a foghatákat logaritmus görbe szerint megmunkáljuk. A tárcsa ekkor a 170. X. b 2. ábrának megfelelő alakot nyer. A fogúrnek megfelelő anyagot erre maróval távolítjuk el (l. a 170. X. b 3. ábrát). Ezután megedzzük és megeresztjük a szerszámot és végül a 170. V. ábrán jelzett módon kiköszöröljük. A tárgyra vonatkozólag megjegyezzük, hogy átmérőjét pontos méret szerint kell elkészítenünk. Ha a fogosztás t_1 , a fogszám F , akkor az osztó kör átmérője: $D = \frac{t_1 F}{\pi}$. A gyakorlatban nem a t_1 , hanem a $\frac{t_1}{\pi}$

hányadost adják meg s ezt *modulusnak* nevezik $\left(\frac{t_1}{\pi} \text{ mod} \right)$. Azonos

300. A fogaskerekedek eddig ismertetett gyártására olyan marót használunk, aminő a 170. X. a) ábrán látható. Ez a következő módon készül: A kilá-

modulusú kerek készítéséhez, ha fogszámuk változó, más-más marót kell használni, ha tudniillik teljesen pontos fogazást kívánunk, különben az elkészült fog görbéje nem lesz pontos.



177. ábra.

Csavar alakú maróval dolgozó fogaskerék-maró.

301. Csavarkerek készítésére az előző pontban ismertetett tárcsa alakú maró nem alkalmas s azért e célra a 176. ábrán látott csavar alakú marót kell használnunk, még pedig úgy, hogy a maró tengelyét

a készítendő csaverkerék tengelyéhez képest 90^0 -nyi szög alatt helyezzük el, de ekkor arról is kell gondoskodnunk, hogy a marás művelete közben ne csak a szerszám, hanem a tárgy is forogjon, még pedig a készítendő csavarkerék áttevésének arányában. Ennek a feladatnak megoldása a 177. I. és II. ábrákon látható. Az Sz marószerszám tengelye egyrészt az N_1 tartóba ágyazott K tengelybe sülyeszthető, másrészt azt az N_2 nyereg-szeggel támasztjuk. Forgását az F lépcsős szíjdobokkal felszerelt főtengelytől nyeri. Ennek forgása az r_1, r_2 kerekek útján a G függélyes tengelyre, innen a D szupportban ágyazott tengelyre, ettől kúpkerek útján az I. tengelyre és r_7, r_8 útján a K tengelyre jut. Minthogy a marót a tárgy méretéhez képest a függélyes síkban be kell állítani, ezért a D szupport kézzel a P kézikerekkel, vagy gépi úton a cs_1, cs_3 csavaráttevéssel mozgatható; hogy eközben a szerszám forgása meg ne szűnjön, az r_3 kerék a függélyes G tengellyel ékvezetékesen van kapcsolva, agya pedig a D szupporthoz van kötve.

A tárgyat, vagyis a marandó tárcsákat a C tárgytartó asztalon függélyes tengelyre erősítjük s hogy ez a szerszámhoz képest közelíthető vagy távolítható legyen, a tárgytartó tengelyt a B szupportra szereljük. Hogy pedig a tárgyat is forgásban tarthassuk, a B és C részek közé csavarkereket helyezünk, amelyet az R tengelyen levő csavar mozgat. Forgását az R tengely ugyancsak az F főtengelytől nyeri, még pedig a $\rho_1 \sim \rho_5$ keréksorozat útján.

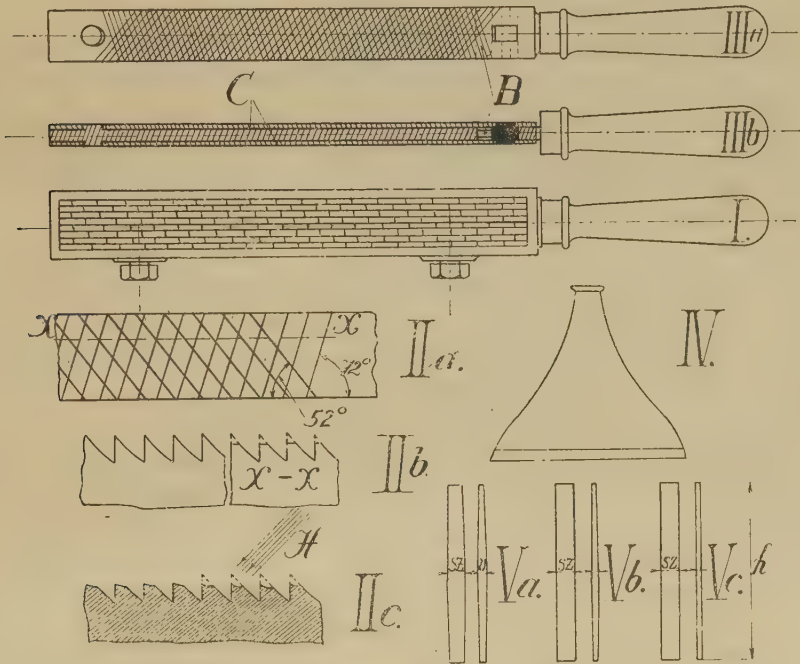
A most ismertetett marógépen azonban nemcsak csavarkerek, hanem homlokkerek is készíthetők. E célból a marószerszám tengelyét eddigi vízszintes helyzetéből oly ferde helyzetbe kell hoznunk, hogy meneteinek iránya összeessék a homlokkerék alkotójának irányával, épen ezért a szerszámtartó E lapja a H laphoz képest az r_4 kereket tartalmazó vízszintes tengely körül elfordíthatóan készül.

Homlokkerek gyártásánál továbbá az is szükséges, hogy a maró a készítendő kerek alkotójának irányában is haladjon oly célból, hogy fogmélisége mindenütt egyforma legyen. Ezt a mozgást a már előbb ismertetett D szupportnak továbbításával érjük el. Megjegyezzük még, hogy ez eljárásnak előnye főleg abban áll, hogy az azonos modulusú fogaskerek elkészítéséhez ugyanazt a csavaralakú marót használhatjuk; hátránya pedig, hogy a mellékmozgásokat létesítő géprészek kopása a fogaskerek profilját befolyásolja.

ϵ_1) *A reszelők.*

302. A reszelőket csak kézi szerszámoknak használjuk. Készítésük legegyszerűbb módját HAID találta föl. Ő ugyanis számos fűrészpengét markolattal ellátott keretbe oly módon fogott be (l. a 178. I. ábrát), hogy éleik szétszórva legyenek s e helyzetükben csavarral rögzítette. Ez

elrendezésnek előnye, hogy az éleket, ha eltompúltak, köszörüléssel élesíthetjük. E célból az egyes fűrészpengéket úgy csoportosítjuk, hogy az élek egyenes vonalba jussanak. A HAID-féle reszelők előnye azonban csak akkor érvényesül, ha a fogak osztása 3~5 mm-nél nagyobb, miért is ezek csak nagyolásra használhatók. A kisebb fogosztással bíró reszelők vágószerszámmal való duzzasztással készülnek. A lágyított acélból készített hasáb oldalapjait ugyanis a 178. IV. ábrán látott vágóval kézzel vagy géppel úgy vágjuk be, hogy azon a 178. IIb. ábra baloldali részén látható fogazat képződjék. A vágót eközben úgy tartjuk, hogy a szerszám



178. ábra.

A reszelő-vágás fokozatai.

éle a hossziránnyal, amely a haladás irányával összeesik, 72° -nyi szöget alkosson (l. a 178. IIa. ábrát). A bevágás e módjával oly éleket készítnék, amelyek a szerszám szélességén végigfutnak, ezért széles forgácsot szelnek. A forgács nagy ellenállása következtében az egy irányban bevágott reszelő csak lágy anyagokhoz használható. Keményebb anyagokhoz olyan szerszámmra van szükségünk, amelynél az élek hossza csekélyebb. E feladatnak eleget teszünk, ha az élek hosszát több részre osztjuk, úgy hogy a vágószerszámot a 178. IIa. ábra szerint az előbbi irányra keresztelő, azaz 52° alatt balra dülő irányban is bevágjuk. A második bevágás előtt azonban a 178. IIb. ábra jobboldali rajza szerint az első bevágással

nyert éleket letompítjuk. A kétirányú bevágások folytán **V**-alakú élek képződnek, amelyeket ellenállásuk növelése céljából edzenünk és megeresztünk kell, ezután pedig, hogy az élek elhelyezési szöget is nyerjenek, hátlapjukat homokfúvóval kikoptatjuk, amint az a 178. IIc. ábrán látható.

Régebben a reszelőszerszámokat vastagabb tömör acél-hasábból készítették. Keresztmetszetük rendszerint négyszög vagy négyzet volt, de használták a háromszög, kör, félkör és ellipszis keresztmetszeteket is. A keresztmetszet mérete e szerszámoknál nem minden esetben marad állandó, azért a gyakorlat ehhez képest a reszelőket három csoportra osztja.

Nagyolónak nevezzük a reszelőt akkor, ha a vastagság és szélesség mérete a középtől a tő és a vég felé fokozatosan felére csökken, amint azt a 178. Va. ábra mutatja.

Egyengetőnek nevezzük, ha szélessége állandó, vastagsága azonban kétharmadára csökken, amint a 178. Vb. ábrán látható.

Simítónak végre akkor mondjuk, ha méretei változatlanok (lásd a 178. Vc. ábrát).

A reszelők hosszúsága tízszerese a szélességnek.

A vágott reszelők, ha éleik használat folytán elkopnak, csak újból való bevágással hozhatók rendbe. E célból az elkopott reszelőt kilágyítjuk, felületéről a régi bevágásokat leköszöröljük, azután felületét újból vágjuk és újból edzzük, majd megeresztjük s homokkal fúvatjuk.

Ezt a műveletsorozatot azonban legfeljebb kétszer ismételhetjük meg, mert az ismételt vágás és melegkezelés következtében az anyagon hajszáltrepedések mutatkoznak, épen ezért a harmadszori vágás után a reszelő anyaga hasznavehetetlen. E nagy anyagpazarlást meggátolhatjuk, ha a reszelőkhöz nem hasábokat, hanem 3—4 mm vastag acéllemez-sávokat használunk s ha ezek mindkét oldalát bevágjuk. Az ily vékony lemezeket, hogy reszelők módjára kezelhetők legyenek, a 178. IIIa. és IIIb. ábrán látható alaptestre illesztjük s ahhoz a *B*-vel jelölt kampós ékkel hozzákötjük. Ha egyik oldal élei elkoptak, a lap belső oldalát fordítjuk kifelé s ha ez is elkopott, a lemez-sávot eldobjuk.

Az élek nagyságára, vagyis a bevágások osztására vonatkozólag megjegyezzük, hogy az a készítendő felület egyenlőtlenségi foka szerint változik. Mentől egyenletesebb felületet kell készítenünk, annál kisebb legyen az osztás, mert ezzel csökken a fog mélysége és a leszedhető forgács vastagsága is. A gyakorlatban a reszelők minőségének jelzésére nem az osztás számértékét, hanem a hosszegységre eső sorok számát szokás használni. A hosszegység a metrikus számozás ($\mathfrak{N}_m$) szerint 10 mm, az angol ($\mathfrak{N}_a$) számozásnál 21 mm.

	$\mathcal{N}_m$	$\mathcal{N}_a$	Osztás τ_{mm}
A nagyoláshoz használt reszelők száma:	5 ~ 10 ~ 20	10,5 ~ 21 ~ 42	2 ~ 1 ~ 0,5
Az egyengetéshez használt reszelők száma:	20 ~ 30 ~ 40	42 ~ 63 ~ 84	0,5 ~ 0,33 ~ 0,25
A simításhoz használt reszelők száma:	40 ~ 80	84 ~ 168	0,25 ~ 0,125

Nagyméretű tárgyak nagyolásához s egyengetéséhez, t. i. a kovács- és lakatosmunkákhoz a kisebb számúakat, műszerésmunkákhoz pedig a nagyobb számozású reszelőket használjuk.

ζ_1) A koptatás.

303. A koptatás a forgácsolás műveletének egyik fajtája. Ennél olyan szerszámot használunk, amelynek éleit az anyag szemcséi alkotják. Minthogy az anyagok különböző rendszerű kristályokból állanak, azok szemcséi is többé vagy kevésbé fejlett élekkel és csúcsokkal bírhatnak s mert a szemcsék fekvése is igen változó lehet, ezért metszőszögük is tág határok között ingadozik. Az éles élekkel és kifejtett csúcsokkal bíró szemcsék egy része jó karcoló szerszámként működik; az ezekkel megmunkált felület annál egyenlőtlenebb, minél nagyobbak és élesebbek a szemcsék, mert ezek mélyebben hatolnak be a tárgyba, vagyis nagyobb forgácsot szelnek. Ha a megmunkált felületen a szemcse karca szabad szemmel látható, a műveletet *köszörülésnek* mondjuk, ha a karcolatok szabad szemmel nem láthatók ugyan, de nagyító üvegen keresztül igen, *csiszolásnak*, ellenben ha már nagyító üveg alatt sem vesszük észre a karcokat, a műveletet *fényesítésnek* (polírozásnak) nevezzük.



179. ábra.

× 50

A lekoptatott részek mikroszkópi képe.

α_2) A köszörülés és a csiszolás.

304. A köszörülést és a csiszolást a 290. pontban kifejtettek szerint akkor használjuk, ha a leválasztandó δ_1 réteg vastagsága 2,5 mm-nél kisebb. A koptató szerszámoknál ugyanis az éleket a szemcsék alkotják,

az élek egymástól mért távolsága ezért lényegesen kisebb, mint a maróknál. Az élek kis osztása biztosítja a koptatók lökésmentes működését és a megmunkált felület sík voltát.

A köszörülő szerszám hatása szemlélhetővé válik, ha az ezzel leválasztott és tovaröpített anyagrészeket üveglapon felfogjuk, amint azt a 179. ábra mutatja. Ez ábrából kitűnik, hogy azok a részecskék, melyek röptükben megolvadtak, cseppalakúak, míg azok, amelyek csak izzóvá váltak, szabályosan kifejlett forgácsalakúak s azokon a repedések épen úgy láthatók, mint a nagy forgácsokon, melyeket a 136. ábra szemléltet.

De ha a köszörülés és a csiszolás azonos a forgácsolással, akkor annak munkaszükségletét a 219 *b*. képlettel fejezhetjük ki; e célból azonban az abban szereplő l helyett a leválasztott réteg δ , vastagságát kell helyettesítenünk. A köszörülés és csiszolás munkaképlete tehát:

$$2\dot{M}_t = v_t \delta_t b \cdot q_{\max} \sqrt{1 + \lambda_{\max}} \cdot A_1. \quad (253.)$$

Az e képletben előforduló A_1 tényező nemcsak a metszőszögnek, hanem a hatásfoknak is függvénye.

Ily viszonyok között ugyanis az erő hatását csak ismétlődő igénybevétellel éri el s így hasznosítása csekély.

Koptatásnál azonban nemcsak a tárgy, hanem a szerszám is kopik, mert hiszen a tárgy szemesei a szerszámra ugyanolyan hatást fejtenek ki, mint a szerszáméi a tárgyra. A szerszámra vonatkozólag tehát a munka képletét így írhatjuk:

$$2\dot{M}_{sz} = v_{sz} \delta_{sz} b q_{sz \max} \sqrt{1 + \lambda_{sz \max}} A_{sz} \quad (253/a.)$$

és mert a külső munka a tárgyon a kopást, vagyis a forgácsolás munkáját csakis a szerszám belső munkája útján végzi, ezért az $2\dot{M}_t$ arányosnak vehető az $2\dot{M}_{sz}$ -szel, miért is a 253. és 253 *a*. egyenleteket így írhatjuk:

$$v_t \delta_t q_{\max} \sqrt{1 + \lambda_{\max}} A_1 = v_{sz} \delta_{sz} q_{sz \max} \sqrt{1 + \lambda_{sz \max}} \varepsilon A_{sz}. \quad (254.)$$

Ez egyenlethől a b értékét kihagytuk, mert a tárgy és a szerszám érintkező felülete ugyanaz. E képlet csak addig érvényes, míg a tárgy a tangenciális irányban elmozdul, azaz míg $v_t > 0$. Minthogy koptatásnál focolunk a tárgyról a δ rétegnek eltávolítása, ezért indokolt, hogy ez egyenletet δ szerint rendezzük:

$$\delta = \delta_0 \cdot \frac{v_{sz} \cdot q_{sz \max}}{v_t \cdot q_{\max}} \cdot \frac{\sqrt{1 + \lambda_{sz \max}} \varepsilon A_{sz}}{\sqrt{1 + \lambda_{\max}} A_1}. \quad (254/a.)$$

Ha pedig a szerszámot ridég anyagból készítjük, akkor δ_{sz} helyett δ_0 tehető, mert kopása arányos a szemese δ_0 nagyságával, minthogy a szemések kohéziója csekély. Ha meg $\frac{\varepsilon A_{sz}}{A_1}$ helyett α_1 -et teszünk és $\lambda_{sz \max}$ helyett zérust, akkor az egyenlet alakja ez lesz:

$$\delta_t = \alpha_1 \delta_0 \frac{v_{sz} q_{sz \max}}{v_t q_{\max}} \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_{\max}}}. \quad (254/b.)$$

A 254/a. és 254/b. egyenletek a köszörülés és a csiszolás *alapképletei*, miért is segítségükkel a koptatás szabályait vezethetjük le.

A 254/a. képlet szerint δ_t annál nagyobb, minél nagyobb a

$$\frac{v_{sz}}{v_t} \cdot \frac{q_{sz \max}}{q_{\max}} \cdot \frac{\sqrt{1 + \lambda_{sz \max}}}{\sqrt{1 + \lambda_{\max}}}$$

szorzat értéke, vagyis minél keményebb, szívósabb és képlékenyebb a szerszám anyaga a tárgyhoz képest. De mert a tört számlálójának értéke állandó maradhat, ha a tényezők egyikét csökkentjük, a másikat pedig növeljük, ebből következik, hogy a tárgy kopása akkor is végbe megy, ha a szerszám anyaga ugyanolyan, mint a tárgyé, ha a v_{sz} értékét kellően növeljük; sőt lehet a szerszám lágyabb is, de ekkor sebességét ennek arányában növelnünk kell, vagy pedig olyan anyagból kell a szerszámot készítenünk, amelynek $q_{sz \max} \sqrt{1 + \lambda_{sz \max}}$ értéke nagy. Ez az oka annak, hogy a kemény, de rideg üveget lágy szívós bőrrel koptatni lehet, ha a szerszám sebességét $15 \sim 20 \text{ m/sec}$ -ra vesszük és hogy kérges öntvényt lágyvaskoronggal koptathatunk, ha a $v_{sz} = 15 \sim 20 \text{ m/sec}$, sőt hogy lágy vassal kvarcot is, ha $v_{sz} = 50 \sim 100 \text{ m/sec}$. Ha pedig a szerszám szemcsés szerkezetű, rideg anyagból készült, akkor a 254/b. képlet értelmében, azonos sebességi viszonyok esetén, $\alpha_1 \delta_0 v_{sz} q_{sz \max}$ szorzatnak állandónak kell lennie, ennek a követelménynek pedig akkor teszünk eleget, ha a szerszám keménysége oly arányban nő, mint ahogy szemcséi finomodnak. A durva szemcsés homokkő ez okból lágyabb lehet, mint a finom szemcséjű köszörűkővek.

305. Hogy a csiszolókorongok munkaszükségletét a 253. számú képlettel kiszámíthassuk, az A_1 tényező számértékére van szükségünk. Ez a tényező azonban, amint már kifejtettük, igen sok mellékkörülménytől függ, nevezetesen a szerszámra ható Q_v normális nyomástól és a sebességtől is.

Minthogy a szemcsék egy része tompa szög alatt hajlik, a normális nyomásnak csak f hányada okozza a forgácsoló Q_t tangenciális erőt.

E két erő viszonyát súrlódás tényezőjének nevezzük: $\frac{Q_t}{Q_v} = f$.

Két méter kerületi sebességgel bíró korundkorongoknál a súrlódási tényező számértéke CODRON kísérletei szerint a következő:

		Szürkevas	Edzett acél	Lágyított acél	Kovácsvas
f értéke, ha a köszörülést	szárazon végezzük:	0,30 ~ 0,35	0,35 ~ 0,40	0,60 ~ 0,70	0,60 ~ 0,75
	nedvesen végezzük:	0,25 ~ 0,30	0,30 ~ 0,35	0,50 ~ 0,60	0,50 ~ 0,60

A nagyobb értékek a finomabb szemcséjű köszörűre vonatkoznak. Az f tényező értéke a Q_v nyomástól is függ. Ha az érintkező felület egységére (mm^2 -ra) eső nyomás 25 gr -nál kisebb, az f tényező a Q_v -vel gyorsan nő, de ha a felület egységére eső nyomás $30 \sim 40 \text{ gr}$, az f értéke eléri állandóságát; a sebesség növelésével pedig a 2 m sec kerületi sebes-

séig az f értéke rohamosan nő, $2 \sim 5 \text{ m/sec}$ között azonban értéke állandó.

A súrlódás tényezőjét felhasználva, a forgácsolás munka képletét így is írhatjuk:

$$\mathfrak{M}_t = Q_v f v_{sz} = \delta_t b v_t q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} A_1. \quad (253/b.)$$

Ebből a fajlagos koptatómunka:

$$\frac{Q_v f v_{sz}}{\delta_t b v_t} = q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \cdot A_1. \quad (253/c.)$$

A 253/b. képletből következik, hogy a koptatandó anyag keménységének nagyobbodásával a $Q_v v_{sz} f$ szorzatot növelni kellene; ámde a v_{sz} értéke a kötőanyag csekély kohéziója miatt egy bizonyos határon túl nem növelhető, s mert ezzel a maximummál szokás a korongot járatni, azért ezt állandónak vehetjük s továbbá, mert Q_v értékét sem növelhetjük anélkül, hogy a rideg anyag törekenységét ne fokoznók, ezért $Q_v v_{sz}$ is állandónak vehető s mert végül f értéke a koptatandó anyag keménységével csökken, következik, hogy a tárgy $q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}}$ értékének növekedésével a $\delta_t v_t A_1$ szorzat rohamosan csökken. E három tényező közül azonban független változó az A_1 , ezért ennek változásával kell foglalkoznunk. Minthogy A_1 két változónak függvénye, ezért

$$A_1 = A'_1 \cdot A''_1 \quad (255.)$$

A 71. pontban közölt UCHATIUS-féle kísérletekből tudjuk, hogy abban az esetben, ha az anyag alakítására nem áll rendelkezésünkre akkora külső munka, amekkora szükséges volna, hogy a deformálást az első igénybevételkor elvégezhessek, a hasznosítás foka (η) rohamosan csökken, vagyis a deformáláshoz szükséges összes külső munka rohamosan nő.

Ha a hasznosítás fokát az $\frac{M_0}{M_1}$ függvényében koordináta tengelyrendszerben ábrázoljuk, arra az eredményre jutunk, hogy:

$$\eta = \frac{1}{\left(\frac{M_0}{M_1}\right)^3} = \left(\frac{M_1}{M_0}\right)^3 \quad (256.)$$

képlettel fejezhető ki.

Minthogy pedig a 253/b. képletben előforduló A_1 tényezőnek A'_1 jelölt része a hasznosítás reciprok értékével egyenlő:

$$A'_1 = \frac{1}{\eta} = \left(\frac{M_0}{M_1}\right)^3.$$

Ha a hasznosítás foka az egységgel volna egyenlő, akkor forgácsolás volna, tehát $f_1 = 1$ volna, miért is M_0 és M_1 értékei:

$$M_0 = Q_t v_{sz}, \text{ de ekkor } Q_t = Q_v \text{ és } M_1 = Q_v f_1 v_{sz}, \text{ tehát } A'_1 = \frac{1}{f_1}. \quad (256 a.)$$

Az A'_1 tényezőt TAYLOR és CODRON kísérleti eredményei alapján határozzuk meg.

TAYLOR adatai alapján ugyanis a kopás, amint a 246. pontban kifejtettük, abban az esetben, ha $\gamma \cong 90^\circ$ -nál, a q_{max}^2 -vel áll fordított viszonyban; ha azonban $\gamma > 90^\circ$ -nál, úgy CODRON adataiból következik, hogy az q_{max}^3 -vel áll ily viszonyban. Minthogy a koptatás munkaképletében a q_{max} értéke már lineárisan előfordul, következik, hogy

$$A_1'' = \varepsilon q_{1max}^2 \quad (256/a.)$$

s mert CODRON adatai szerint ε értéke 0,00266-ra adódik, így

$$A_1'' = 0,00266 q_{1max}^2.$$

Minthogy

$$A_1 = A_1' \cdot A_1''$$

$$\text{ezért} \quad A_1 = 0,00266 \frac{q_{1max}^2}{f_1^3} \quad (256/b.)$$

Ez értéket a fajlagos munkát kifejező 253. e. képletébe helyettesítve, ez ily alakot nyer:

$$\frac{Q_v f_1 v_{sz}}{\delta_t b v_t} = q_{1max} \sqrt{1 + \lambda_{1max}} \cdot 0,00266 \frac{q_{1max}^2}{f_1^3} \quad (253/d.)$$

$$\text{vagy pedig:} \quad \frac{Q_v f_1 v_{sz}}{\delta_t b v_t} = q_{1max}^3 \sqrt{1 + \lambda_{1max}} \cdot \frac{0,00266}{f_1^3} \quad (253/e.)$$

Hogy e képlet használhatóságát ellenőrizhessük, a fajlagos munkát a XXXI. táblázatban közölt anyagok közül azokra vonatkozólag fogjuk kiszámítani, amelyek a kísérleti anyagokhoz legközelebb állanak.

Állapítsuk meg a fajlagos munka értékét kovácsvasra vonatkozólag, még pedig a XXXI. táblázat 476. szám alatt jelzettre. Ennek jellemző adatai: $q_{max} = 79,0$, $\lambda_{max} = 0,7$, tehát $q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} = 102$, továbbá mert a kovácsolt vasra vonatkozólag CODRON azt találta, hogy $f = 0,75$ így ennek fajlagos koptató munkája a 253. e. képlet alapján 4100 mkg, holott CODRON szerint pro cm^3 : 4300 mkg.

A kilágyított acél értékei a XXXI. táblázat 475. sz. anyaga szerint: $q_{max} = 88$, $\lambda_{max} = 0,70$, tehát $q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} = 115$ s mert $f = 0,70$, így a 253/e. képlettel kifejezett fajlagos munka 6900 mkg, holott az edzett acélnál, mert ennél $p_{max} = 120$ s így $q_{max} = p_{max} \lg^2 \beta = 144$ s mert $\lambda_{max} = 0$, $q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} = 144$, továbbá mert $f = 0,30$, így

$$A_1 = 144^3 \cdot \frac{0,00266}{0,3^3} = 290000,$$

a fajlagos munka tehát a kilágyítottéhoz képest majd 42-szeres.

Számításunk eredménye teljesen összhangzatban van a CODRON-féle adatokkal. Szerinte ugyanis az általa használt kilágyított acélnak a fajlagos munkája 5000 volt, míg ugyanennek edzett állapotában 282000 mkg.

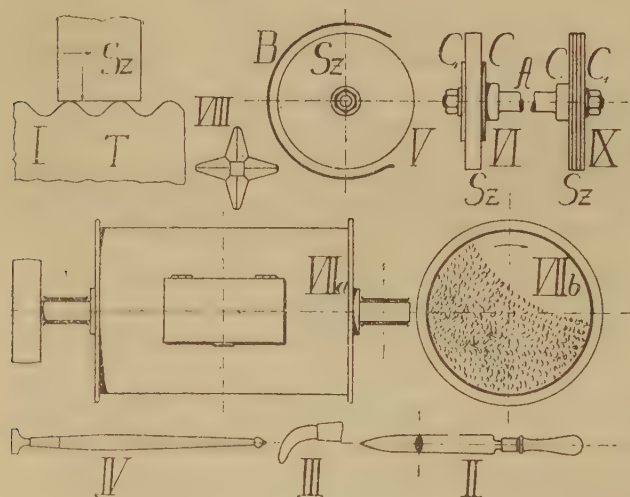
306. A koptató szerszámok munkaképességének fokozása céljából azokat nagy sebességgel járattuk, e nagy sebesség azonban a munkás biztonsága szempontjából veszélyes, mert a gyors forgás okozta centrifugális erő a rideg anyagú szerszámban oly nagy feszültséget ébreszt, hogy a tárgy ráütődése vagy az azzal kifejtett egyenlőtlen nyomás repedést okoz. E veszélyesség csökkentése céljából a korong kerületének azt

a részét, amely a tárggyal nem érintkezik, jól burkoljuk (l. a 180. V. ábra). A burkolatot szívós anyagokból kell készítenünk, mert a rideg anyag, aminő az öntött vas, a korong repedéséből eredő ütés folytán szintén több részre törik s ekkor még több darab hull szerte-szét, tehát fokozza az üzem veszélyességét.

A gyorsan forgó csiszoló korongról és a tárgyról leváló poralakú részek a munkás légzőszervére károsak, ez okból eltávolításukról gondoskodnunk kell. Ezt elérjük, ha a koptató gépet szellőztetéssel vagy pedig vízőblítéssel szereljük fel. A szellőztetést úgy kell berendeznünk, hogy a port keletkezés helyén távolíthassuk el, nem szabad tehát a műhelyt szellőztetnünk, mert ekkor a port a munkás légzőszervéhez vezetjük, hanem a csiszoló korong burkolatát kell erős légszívóval összekötni.

Alégszívóból(exhausztorból) kiáramló poros levegőt azonban portalanítanunk kell. A pornak a levegőtől való elkülönítése gyapjúszöveten való átszűréssel történik.

Sokkal egyszerűbb és hatályosabb a csiszoló korong vízzel való öblítése, miért is azt használjuk, ha csak a víz a tárgyra vagy a szerszáma káros hatást nem fejt ki. A vízőblítés még azzal az előnnyel is jár, hogy



180. ábra.
Csiszoló szerszámok,

a megmunkált felületet hűti, ez tehát nem melegszik fel annyira, mint a 236. pontban tárgyalt metszésnél, ezért nem is oxidálódik, hanem fényes marad.

307. Koptatáshoz a leggyakrabban a következő anyagokat használjuk:

A termés homokkő. Előnye, hogy olcsó; hátránya, hogy csak kis sebességgel járatható, mert keménysége csekély és mert sűrűsége nem egyenlő. A megengedhető legnagyobb kerületi sebesség: $v_{sz\ max} = 5\ m/sec$, a szokásos sebesség pedig: $2 \sim 3\ m/sec$.

A korund (smirgli). A korundot zúzásnak vetik alá, azután szitán nagyság szerint osztályozzák. Az egy milliméter átmérőnél nagyobb törmelékét tovább aprítják, az ennél kisebbeket pedig, a darákat és darcéket, korongok gyártására vagy vászon- és papirosfelületek borítására, a lisztet

pedig, amelyet iszapolással fajtáznak tovább, részben papirosfelületek borítására, részben pedig pép készítésére használják.

A csiszoló anyag számozása a szemcse nagysága szerint történik:

Közepes $d_{mm} =$	Iszapolt termék		Sztált liszt		Derce	
	0,02	0,05	0,15	0,22	0,27	0,35
Keresk. szám	0000	000	3/0	0	1	2

Korongokat a következő módon készítünk: 3 s. r. korundporhoz 1 s. r. sellakgyantát veszünk, ez utóbbit megömlesztjük s a korundport belekeverjük, ezután előmelegített fémalakmába öntjük s az alakverővel lepréseljük. A megengedhető legnagyobb kerületi sebesség: $v_{sz} = 20 \sim 25 \text{ m/sec}$. A sellakos korongok előnye, hogy az eltompult szerszám felületén levő gyanta, mihelyt a tárggyal súrlódik, elég s ekkor az alatta levő szemcsék szabaddá válnak, tehát a szerszám önmagától ismét érdessé lesz. Hátránya azonban, hogy költséges.

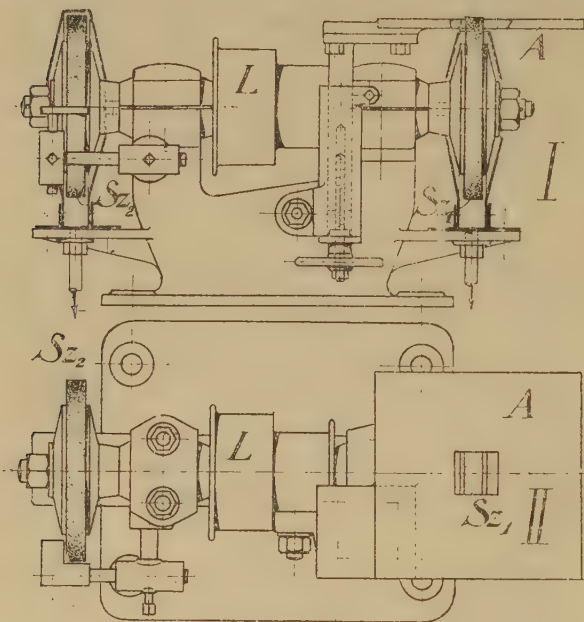
Olcsóbb korongokat készíthetünk, ha 9 s. r. égetett magnéziából és 9 s. r. 30 Bé. sűrűségű klórmagnézium-oldatból álló keverékbe 42 s. r. korundport keverünk s azt alakmába öntve préselt állapotában szárítjuk.

Vászonra vagy papirosra a korundot úgy rögzítik, hogy a kérdéses anyag felületét enyves vagy alkoholban oldott gyantapéppel bevonják s arra a korundport reásztálják.

A karborundum. Ez a csiszoló anyag ipari termék; elektromos kemencékben készül: főleg Amerikában gyártják a Niagara vízeséseknél. A kemencék főméretei: szélesség: 1,5 m, magasság: 1,5 m és hosszúság: 25 m. A kemence két végén erős elektródok vannak, ezek közé oly keveréket teszünk, amely 49,5% koksziporból, 36,5% tiszta kvarchomokból és 14% tengeri sóból áll. Az áram 250 V. feszültségű. Ily viszonyok között a kokszból részint *grafit*, részint *karborundum* képződik. A karborundum kémiai összetétele: 70% C és 30% Si. Színe a szennyeződéshez képest többé kevésbé sötétzöld, de van fehér színű karborundum is. Rhomboéder rendszerű kristályait összezúzzák, szítálják és iszapolják. A darákat és dercéket korongok gyártására, a lisztfajtákat pedig pépek készítésére használják. Korongok gyártása céljából a karborundum-darát vagy dercét agyaggal összegyúróják, ebből korongokat préselnek, amelyeket lassú szárítás után kiégetnek. Az ilyen korongok kerületi sebessége 35 ~ 60 m/sec is lehet.

Vászon vagy papiros felületének korundporral való lekötésére állati enyvot vagy alkoholban oldott gyantát használnak. A kifeszített vásznat, hogy likacsait kitöltsék, először is enyves földfestékkel vonják

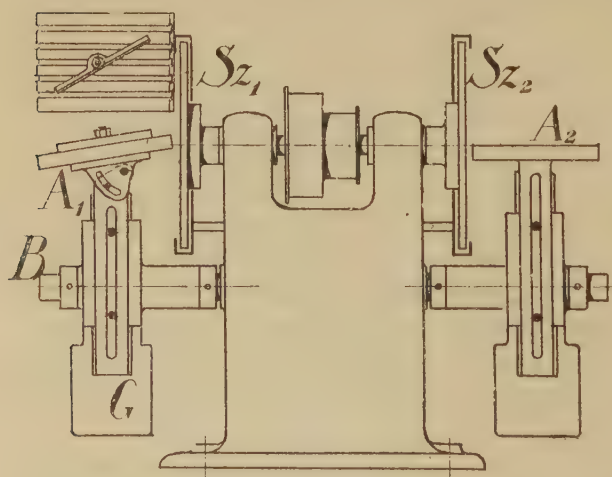
be, ezután újabb enyves vagy gyantás oldatot kennek reá s erre korundport szítálnak. A korundlisztből pépet olajjal vagy zsiradékkal vagy vazelinnel készítenek, sokszor azonban csak vízzel vagy alkohollal.



181. ábra.

Köszörülő, sík felületek egyengetésére.

letű korongot meghajlítsák, azaz eltörjék, a korundkorong és a tárcsák közé megfelelő lemezeket tesznek. Különös gondot kell fordítani arra,



182. ábra.

Csiszoló, illesztendő felületek megmunkálására.

lennel készítenek, sokszor azonban csak vízzel vagy alkohollal.

308. A koptató gépek a megmunkálandó tárgy alakja szerint módosulnak. Ez alapon megkülönböztetünk sík felület, forgási felület, alakos felület koptatására és testsokaságok koptatására alkalmas gépeket.

Sík felületek egyengetésére a 181. ábrán látható elrendezést használjuk. A szerszám korund- vagy karborundum-korong, amely a főtengely végére két tárcsa közé van befogva (lásd a 180. VI. ábrát). Nehogy e tárcsák a nem teljesen sík felü-

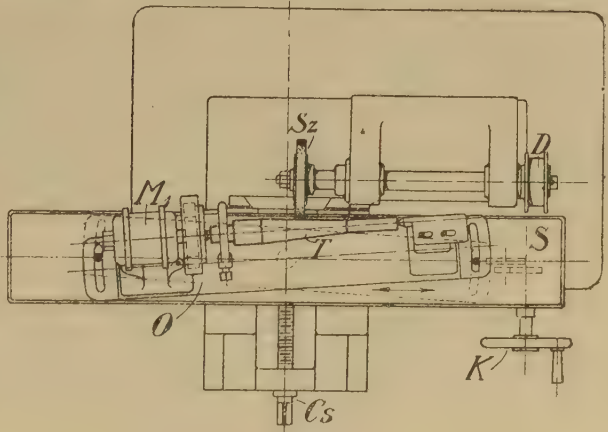
letű korongot meghajlítsák, azaz eltörjék, a korundkorong és a tárcsák közé megfelelő lemezeket tesznek. Különös gondot kell fordítani arra, hogy az alátett lemezek anyaga az ott uralkodó nyomás alatt nagymértékben ne alakuljon, mert elcsúsztatásuk repesztő hatású. Jól bevált e célra a papiros-karton. A korundkorongot a 181. ábra szerint a tárgytartó asztal alá helyezzük, a tárgyat pedig kézzel mozgatjuk az *A* asztallapon.

309. Illesztendő felületek lecsiszolásához, főleg ha pontosan 90° alatt hajló felületekre van szükségünk, korundko-

rongok helyett gondosan megmunkált fémkorongot használunk, amelyet azonban korundvászonnal, vagy korundpapirossal borítunk. Az ilyen csiszológépen, mint a 182. ábrán látható, az A_1 asztallap a tárgy pontos vezetésére vezető léccel vagy szupporrtal van felszerelve és azonfelül ferdén is állítható.

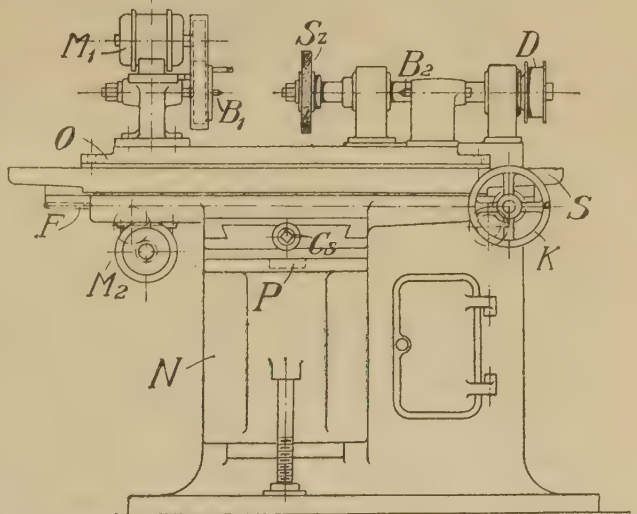
310. A koptató eljárás tengelyek megmunkálására igen gyakran használják. A formába sajtolt görbített tengelyeket ugyancsak köszörülni szokás, a kovácsoltakat pedig előbb nagyoljuk, azután köszörüljük.

A tengelyköszörülő gépek lényege az, hogy a tárgy lassan forog, a szerszám pedig gyorsan és hogy azonkívül egyikük tengelyirányú mozgást is végez. Pontosabb munkát azokkal a gépekkel teljesíthetünk, amelyeknél a tárgy végzi az alternatív mozgást, mert egyenes vezetéjük hosszabb s ezért nem rezegnek, hátrányuk azonban, hogy nagy helyet foglalnak el, amint ez a 183. és a 184. ábrákból is kiténik. Ez ábrák szerint a tárgyat külön M_1 motorral forgatatluk. A tárgy-tartó fejszege és nyeregszege az O asztallap-hoz van erősítve, amely az F vezetéken mozgó S asztalhoz képest ferdén is állítható, hogy e géppel kúp-felületeket is csiszolhassunk. Az S lap alternatív mozgatását az M_2 motor végzi, az Sz szerszám D tárcsáját pedig külön motor forgatja.



183. ábra.

Tengelycsiszoló alaprajza, amelynél a tárgy végzi az alternatív mellékmozgást.



184. ábra.

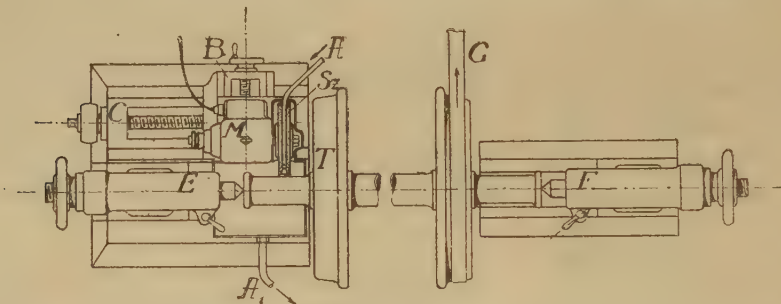
Tengelycsiszoló oldalnézete, amelynél a tárgy végzi az alternatív mellékmozgást.

Tengelycsiszoló oldalnézete, amelynél a tárgy végzi az alternatív mellékmozgást.

Fél akkora helyet sükségelnek azok a gépek, amelyeken a szerszám végzi az alternatív mozgást; de mert a gyorsan forgó korong, ha egyesben való vezetéke csak némileg kopott, igen erősen rezeg, azért ezek a gépek pontos munkára kevésbbé alkalmasak, kivéve ha a szerszám kilengése csekély, amint az a 185. ábrán vázolt csap-csiszolón látjuk. Ez elrendezésnél a vasúti kerék az *E* nyeregszegek közzé van befogva, forgatását az egyik kerékre helyezett *C* szíj végzi. A szerszámot az *M* mőtor forgatja, amely a *B* asztalhoz van erősitve. A *B* asztal pedig az az *R* lapon szánszerűen van elrendezve, hogy az alternatív mellékmőzgást végezhesse.

311. Alakos tárgyak koptatásához a kefehengert használják. Ilyenkor korundpépet tapasztanak a tárgyra, amelyet a kefe szétken s ezzel koptat is.

312. Hengerek belső falának csiszolásához elektromőtorral kapcsolt



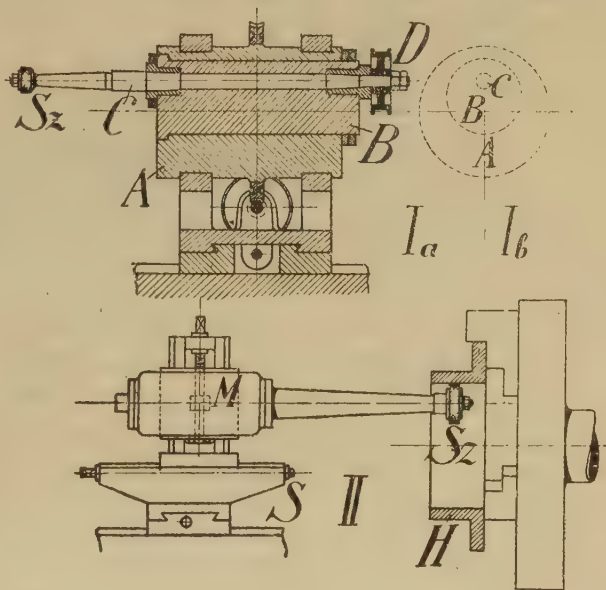
185. ábra.

Csap-csiszoló, amelynél a szerszám végzi az alternatív mellékmőzgást.

csiszolókorongot használunk (l. a 186. II. ábrát). A tárgyat az eszterga fej-tárcsájára fogjuk be s lassan forgatjuk, a gyorsan forgó szerszámot pedig a szupportra erősitjük, amely a szerszámnak az alkotó irányú mellékmőzgását is biztosítja. Ha a henger akkora átmérőjű, hogy a csiszológép mőtorja abba belefér, akkor aránylag kurta tengelyre foghatjuk a korongot, de ha a csiszolandó henger kisebb átmérőjű a korong mőtorjánál, akkor a korongot oly hosszú tengelyre erősitjük, amilyen hosszú a csiszolandó henger, ilyenkor azonban a tengelyt közvetlenül a korongnál kell támasztanunk. Álló hengerek csiszolásához oly gépet kell használnunk, amelynél a szerszám végzi az összes mozgásokat. Ilyet a 186. I/a., I/b. ábra mutat. Ennél a szerkezetnél *Sz* szerszám *C* tengelye a *B* hengerben külpontosan van elhelyezve, ez utóbbi pedig az *A* hengerben ugyanígy. Minthogy az *A* henger lassan forog, a *C* tengely körben végzi mellékmőzgását, emellett főmőzgását a *D* szíjdob útján nyeri; hogy a szerszám a henger tengelye irányában is haladhasson, az *A* henger csapágytartói szupportra vannak szerelve.

313. Ha koptatással csak az oxidréteget kell eltávolítanunk, akkor a tárgyat homokfúvó hatásának tesszük ki. Homoknak a korund-darát használjuk.

A kisebb méretű tárgyakat a 180. VII. ábrán látható dobba tesszük, még pedig koptatóanyaggal keverten. A dobot, ha a koptatandó testek anyaga szívós és képlékeny, csak $\frac{3}{4}$ részben telítjük meg, oly célzattal, hogy a dob lassú forgása következtében a tárgyak nagyobb úton guruljanak; ha azonban a koptatandó anyag rideg (pl. öntött fogaskerék), akkor a dobot $\frac{9}{10}$ részig, vagyis majdnem egészen meg kell töltenünk, mert a forgás közben előálló ütközések törést okoznak. Hogy e csekély mozgás dacára a koptatás hatályos legyen, egyrészt több koptatóanyagot adunk, másrészt pedig a 180. VIII. ábrán látható kéregöntvényű tüskéket is tesszük az áru közé, amelyek alakjuknál fogva minden csekély elmozdulás folytán hat helyen koptatnak s mert e tüskék csúcsai kisebb részekbe (a fogüregbe) is behatolhatnak, azért a koptatás hatályát lényegesen növelik.



186. ábra.
Henger-csiszoló.

β_2) A fényesítés.

314. A fényesítéssel a köszörülésnél támadt karcokat igyekszünk elsimítani. E célból (l. a 180. I. ábrát) a kiálló testrészeket le kell nyomnunk, de a nyomás folytán elmozduló részeket tovább is kell tolnunk, hogy a szomszédos részecskékkel — magvakkal — kapcsolódjanak. Minthogy az elmozdult magvak irányított helyzetüket a nagymértékű deformálás következtében teljesen elveszítik, a fényesített felületet amorfszerű kapcsolódó csoportok borítják.

Az elemi csoportok szükséges tovacsúsztatását kézi szerszámmal vagy gépi úton vihetjük véghez.

315. Kézi szerszámoknak kemény anyagú fényesre csiszolt, legömbölyített felületeket használunk. Acélfelületek fényesítéséhez oly alakú acélpengét, aminőt a 180. II. ábra mutat, míg nemes fémek és ötvözetek

fényesítésére a 180. III. IV. ábra-alakú achát követ. Megjegyezzük, hogy ily szerszámot használat előtt és használat közben is gyakran kell bőrfelületekhez dörzsölnünk, hogy a szerszámon netán keletkezett egyenlőt-lenségeket lecsiszoljuk. Csiszolóanyagúl alkoholban vagy vízben lebegő állapotban levő égetett meszet használunk.

Géppel végzett fényesítéshez szövet-tárcsákból összevarrt korongot használunk (l. 180. IX. ábra), fényesítő anyagként ugyancsak vízben vagy alkoholban lebegő állapotban levő oly anyagok elemi csoportjait, amelyek-nek élei és csúcsai lehetőleg tompák. Ilyen anyag az iszapolt vörösvasérc, a súlypát, a timföld (Al_2O_3) és az égetett mész; ez utóbbi *bécsi mész* néven kerül forgalomba.

Testsokaságok fényesítéséhez a 180. VII. ábrán látható forgó dobot használhatjuk, amelybe csiszoló anyagúl fűrészport vagy korpát használunk.

31) A csavarvágás.

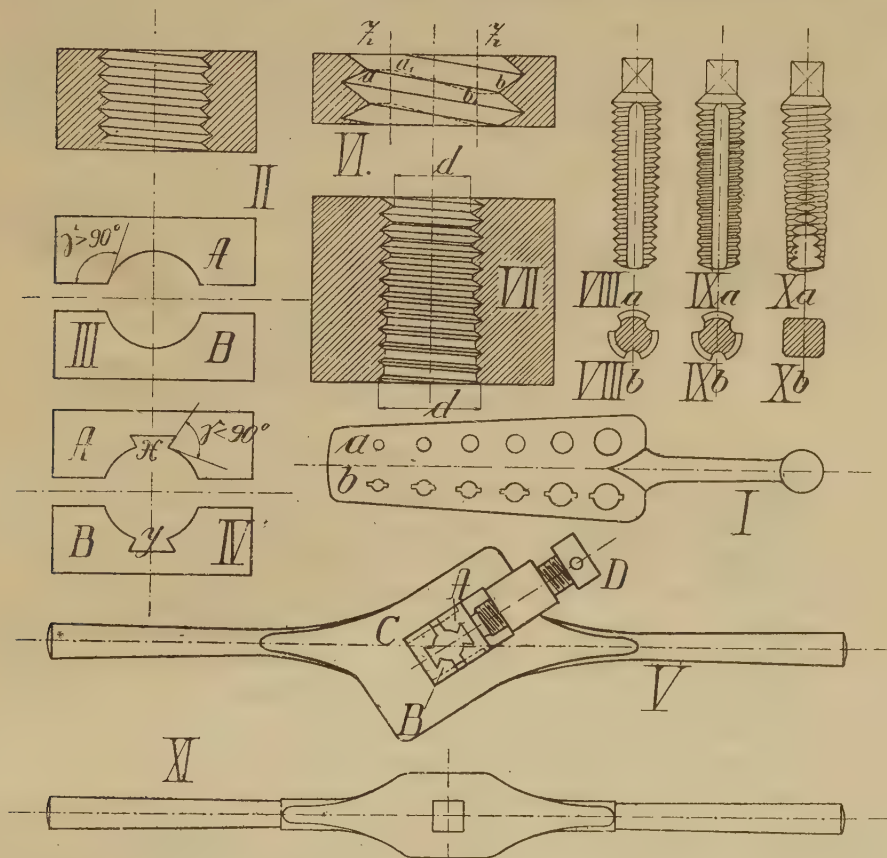
316. A csavarvágás lényege az, hogy szerszámának továbbító mellék-mozgása ($\tilde{z}_-$) nagyobb az él szélességénél és hogy azonfelül forgó mozgást is végez. E két mozgás bármelyikét azonban a tárgy is végezheti. Minthogy e szükséges mozgásokat az esztergán szintén véghezvihetjük, ezért csavart esztergán is vághatunk, de mert ez eljárás költséges, e célra rendszerint sok élű szerszámot szokás használni.

Csavarorsók vágásához csavarhüvely alakú szerszámot használunk, amely edzett acélból készül. Ha e csavarhüvelyt egységesen használjuk, ahogy ezt a 187. I a. ábra mutatja, akkor csak a menet kezdő része alkotja a forgácsoló szerszámot, a menet többi része pedig részben nyomással alakít, részben pedig csak a tengelyirányú mellékmozgást biztosítja. A forgácsoló él e tökéletlensége miatt ily szerszámmal csak lágy anyagok vághatók.

Kedvezőbbek a viszonyok, ha a csavarhüvelybe rést vágunk, amint az a 187. I b. ábrán látható. Ekkor ugyanis a hüvely összes menetei forgácsolnak, de mert metszőszögük a 187. II. és III. ábra szerint nagyobb 90 foknál, ezért ez a szerszám is csak mérsékelt keménységű anyagok-hoz, nevezetesen réz- és cinkcsavarok készítéséhez használható.

A vascsavarok készítéséhez ellenben oly szerszámmra van szükségünk, amelynek metsző szöge kisebb 90 foknál. E feladatnak a 187. IV. ábrán látott kimetszéssel tehetünk eleget. Az ilyen szerszámot a 187. V. ábrán látott tartóba úgy fogjuk, hogy kezdetben az élék a tárgyat csak érintsék, azután a *D* csavarral fokozatosan összébb hozzuk a szerszám A_1, A_2 részeit, minek folytán az élék a tárgyba hatolnak és a szerszám forgatásakor forgácsolnak. A szerszám behatolása következtében meg-változik a tárgyba vágott menet iránya. Ez ugyanis a 187. VI. ábra szerint a munka kezdetén az *ab* vonalnak felel meg, az elkészült csavaron pedig az $a_1 b_1$ vonalnak. Ez irányváltás azonban csak úgy mehet végbe, ha a szerszám a menet irányát folyton eltolja, deformálja. Ámde a részecskék

eltolásán alapuló deformálás következtében a menet anyaga elveszti szívósságát s ellenállása az ismétlődő igénybevételekkel szemben rohamosan csökken. E hátrányos jelenséget kiküszöbölhetjük, ha a szerszámot nyíra kúposítjuk, hogy a szerszám egyik végén az eredeti menet teljesen megmaradjon, a másik végén pedig az teljesen eltávolíttassék, vagyis úgy, amint a 187. VII. ábrán feltüntettük. E szerszám *A* és *B* részeit a 187. V.



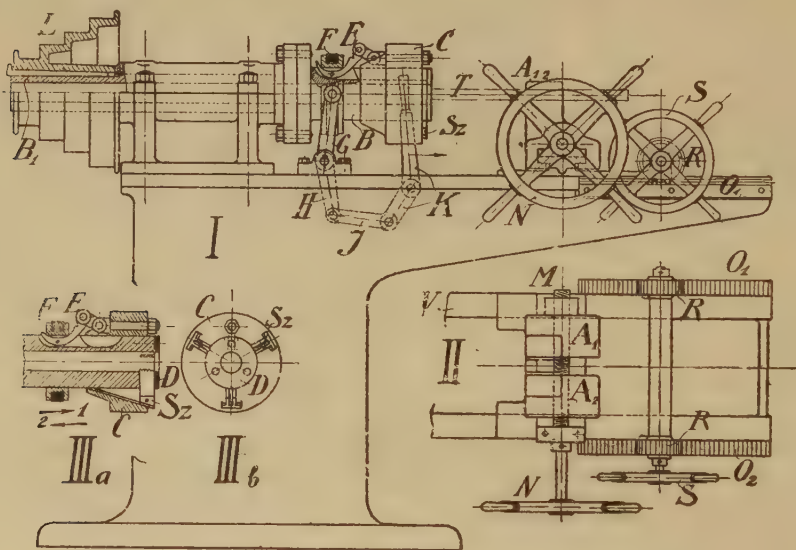
187. ábra.
Csavarvágó szerszám.

ábrán látott tartóban egymáshoz szorítva helyezzük el. A szerszám tehát nagyobb átmérőjű furatánál levő hosszabb élével kezdi a forgácsolást s a hegyesebb élek csak fokozatosan mélyítik a menetet.

317. Csavarhüvelyek vágásához csavarorsószerű szerszámokat használunk, hogy azonban a szerszám a készítendő hüvely furatába beleférjen, azt a régiebb elrendezés szerint a 187. VIII. *a.* ábrán látható kúpos alakkal látjuk el s ebbe az élek sokaságának kiképzésére a VIII. *b.* ábrán látható réseket vágunk.

A kúpalakú szerszám azonban a menetek irányát épúgy változtatja, amint azt a 187. IV. ábrán jeleztük, ezért újabban a meneteket hengerre vágják s e hengeres szerszámot utólag kúposra esztergálják le, hogy az a 187. IX *a*. ábrán látható alakot nyerje. Az élek sokaságát a 187. IX *b*. és X *b*. ábrán látott résekkel biztosítják, a szerszám kézzel való forgatását pedig a 187. XI. ábrán bemutatott forgató karral végzik.

318. Csavarorsók tömeges gyártásához a 188. I., II., III *a*. és III *b*. ábrákon vázolt csavarvágó gépet használjuk. A készítendő *T* tárgyat az *N* kézikerekekkel mozgatott $A_1—A_2$ satúba fogjuk be. E tárgytartó az $O_1—O_2$ szánra van erősítve, ez pedig az *S* kézikerekekkel mozgatott *R* fogaskerek által az állványhoz erősített fogazott rúd útján előre



188. ábra.

Csavarvágó-gép.

és hátrafelé mozgatható. A szerszám a 188. III *a*. ábra szerint szintén kúpos furattal készül, csakhogy ez esetben szerszámként nem az egész csavarhüvelyt, hanem ennek csak három szelvényét használjuk fel. E szelvényeket a 188. III *a*. s III *b*. szerinti elrendezésben a *B* cső *C* karimájába úgy helyezzük el, hogy azok forgásközben sugár irányú mellékmozgást is végezheszenek és hogy ezek a csavarvágás befejeztével a tárgy meneteiből gyorsan kiemelhetők legyenek, ezzel ugyanis az elkészült csavarorsó gyors visszahúzása válik lehetővé.

E célból az *Sz* szegmentek a forgómozgást végző *B* csőhöz a *D* karmantyúval, a *C* gyűrű lejtőjével pedig ékvezetékesen vannak kapcsolva. Ha a *C* részt a *K* és *H*, *G* emeltyűkkel és az *F* gyűrűvel az *E* kar útján elmozdítjuk, akkor a szerszámok sugár-irányban haladnak.

Csavarhüvelyek gépi készítéséhez hasonló gépet használunk. A különbség csak az, hogy ekkor az Sz szegmentek nem menetesek, hanem csak érdesek. A vágandó hüvelyt ezekkel fogjuk be s így biztosítjuk a forgómozgást, az A_1 tartóba pedig a szerszámot fogjuk be.

B) Szabálytalan darabolás.

319. Fémeknek szabálytalan alakú részekre való darabolását a következő módon végezhetjük. Rideg anyagból készült tartók, mint aminők a nagyobb nyersvas öntvények, zúzással darabolhatók. E célból nagyobb méretű kérges öntvényű gömböt 5 ~ 10 méter magasságból ejtünk a tárgyra.

Szívós anyagból készült testeket csavarással vagy pedig ide- s oda- való hajtogatással lehet szabálytalan darabokra osztani.

III. ALAKÍTÁS TÖBB TEST TÖMEGÉNEK ÖSSZEKAPCSOLÁSÁVAL.

A) Kohéziós kapcsolat.

320. Szilárd testek kohéziós kapcsolatát, ha a kohéziós kapcsolat az egyesítendő két test egész keresztmetszetében megy végbe, *hegesztésnek*, ha pedig a vastagabb tárgy felületével a kapcsolandó anyag vékony rétegét egyesítjük, *bevonásnak* mondjuk.

A hegesztés és bevonás mibenlétét, e műveletek végrehajtásának módzatait az általános rész 147—152. pontjaiban már részletesen ismertettük. E helyütt tehát csupán annak a megjegyzésére szorítkozunk, hogy a gyakorlatban a vastárgyakat a 77. I. és II. ábrákon bemutatott módon szokás hegesztteni. A hegesztendő tárgy hőfokát lehetőleg a solidusig kell emelnünk, sőt ha salakképző, azaz oxidokat feloldó anyagokkal vonjuk be a tárgyakat, akkor a solidust túllépő hőfok sem okoz káros jelenséget.

Hegesztésnél különösen arra legyünk figyelemmel, hogy az érintkező felületek szélei jól hegedjenek, mert ekkor a belsőbb részek a másodszori izzításkor már összehegednek és hogy hegesztés után a hegesztett hely a kritikus hőfokon túl circa 100—150°-on 4—6 órán át tartó melegkezelésnek legyen kitéve oly célból, hogy az amorf kapcsoló csoportok szemcsés elrendezést nyerjenek, mert ha ezt nem tesszük, akkor a leggondosabban összehegesztett felületek is szétmállnak, ha ezeket utólag ismétlődő igénybevételeknek vetjük alá. Minthogy széndúsabb acélfajok solidus hőfoka oly alacsony, hogy ennél az anyag még oly kemény, hogy kalapácsütésekkel akkora gyorsítást nem okozhatunk, amekkora a hegesztéshez szükséges, ezért ez anyagokhoz oly hegesztő porokat használunk, amelyek oxidoldó hatásukon kívül szénoldó hatást is

kifejtenek. Ilyen szénoldó anyag a nagyon szénszegény szilíciumdús vas, amelyet a salakképző anyagokkal együtt por vagy drót alakjában helyezünk el a hegesztendő felületre. E szénszegény vas az acél érintkező szemcséiből szétold, ezzel a szemcsék a kérdéses hőfokon is lágyabbakká válnak, miért is egynehány pontban már összehegednek. A hegesztést ezután termikus kezeléssel tökéletesítjük. A gyakorlatban használt hegesztő porok összetétele igen különböző. DR. CZAKÓ MIKLÓS 72625. sz szabadalma szerint olyan anyagok kellenek, amelyek megömlesztve vasoxidul-alkálit, vasoxidul-földalkáli-szilikátot, vagy pedig foszfátsalakat alkotnak. Használható tehát: foszforsavas nátron vagy a kovasav (250 gr.), szóda (200 gr.), kalciumfluorid (50 gr.) és 2—6% silíciumot tartalmazó vasreszelék (500 gr.).

321. Felületek bevonására a 150. pontban ismertetett SCHOOP-féle eljárásen kívül kisebb méretű tárgyakhoz a SHERADIS-ét is használhatjuk. Ez utóbbi eljárásának lényege az, hogy a bevonandó testsokaságot oxidmentesen tesszük a forgódobba, még pedig cinkreszelékkel és homokkal keverten, ezután néhány órán át lassan forgásban tartjuk a dobót, miközben azt 230—400 C°-ra is felmelegítjük. Az oxidmentes felületekhez a cink a surlódás következtében adhéziósan tapad, de mert 230°-on túl a cink már csoportosul, az adherált helyek egymással kohéziósan kapcsolódnak s teljesen zárt réteget alkotnak.

A színarany, minthogy folyáshatása kilágyított állapotában rendkívül alacsony, hidegen jól hegeszthető. Ez eljárást fogtöméshez használják. Az aranyfüstöt előbb kilágyítják, azután labdacot készítenek belőle, ezt a fogüregben szűrőszerszámmal nyomkodva elcsúsztatják, miközben a laza labdac tömör testté heged.

Színaranyval rezet is bevonhatunk. A kilágyított aranyfüstöt a fémes felületű kilágyított réztárgyra helyezzük és achát-kővel dörzsöljük.

Réztárgyak hidegen színezüsttel is bevonhatók. A kilágyított fémes felületű réztárgyra a kilágyított ezüstleveskét helyezzük, ezután hidegen hengereljük; ezt követőleg a már adhéziósan kapcsolódott testeket kilágyítjuk s újból hengereljük.

Sárgaréztárgyak ezüsttel csak akkor vonhatók be, ha felületüket előbb ónozzuk.

B) Adhéziós kapcsolat.

322. Nem oldódó fémek között a kapcsolat csak adhéziós lehet. Ha tehát a SCHOOP-féle eljárással vasra ólmot vagy nikkelt permetezünk, úgy ezek csak adhéziósan kapcsolódnak, tehát csak borítást adnak.

A nikkellel való borítást régebben úgy végezték, hogy a vékony nikkellemezeket a vasszűrőfelületre hatályosan reákalapálták vagy reáhengerezték. A borításnak e módját *lemezelésnek* nevezzük.

C) Foglaltos kapcsolat.

323. A foglaltos kapcsolat igen gyakran adhézios kapcsolattal szokott párosulni. Az adhézios kapcsolatot ugyanis az érintkező felületek között kifejlődő surlódás létesíti.

Mint hogy a foglaltos kapcsolások minden fajtája más tudományágakban is tárgyalatik, ezért e helyen csak felsorolásukra és annak a tudományágnak a megnevezésére szorítkozunk, amelyhez besorolandóknak véljük.

324. Az adhézios kapcsolattal párosult foglaltos kapcsolatnak egyik leggyakrabban alkalmazott fajtája a *sodrás* (csavarás), amellyel drótokból *zsinegeket*, *köteleket* és *kábeleket* gyárthatunk; de mert sodrással a *szálas anyagok ipartana* foglalkozik részletesen, a drótok sodrással való egyesítését is odatartozónak véljük.

Az adhézios és foglaltos kapcsolat érvényesül továbbá a *drótszövegek*- s *hálók*-, valamint az úgynevezett *kötőelemeknél* is, mint aminők a szegecsek, csavarok és ékek, de mert az első csoportbeliekkel a *szálas anyagok* ipartana, az utóbbiakkal pedig a *gépszerkezettan* foglalkozik, ezért ezeket sem tárgyaljuk itt.

325. Tisztán foglaltos kapcsolatnak tekinthetők a *borítások és a burkolatok*. Elektromos vezetékekül használt drótokat például fonalakkal vagy papirossal kell borítani. Az ecélra szolgáló eljárásokat azonban nem itt, hanem a szálas anyagok ipartanában fogjuk részletesen tárgyalni. A kábelek ólomburkolatát az I. kötet 304. pontjában már ismertettük.

Ámbár a foglaltos kapcsolat egynéhány alkalmazása a mechanikai technológia körébe tartozik, ilyen például a drágaköveknek nemes fémekből készült keretbe való foglalása, valamint a fémtárgyak csomagolása, e műveletekkel azonban még sem kell behatóbban foglalkozni, mert ezek az eddig ismertetett elvek alapján minden további útbaigazítás nélkül végrehajthatók.

FÜGGELÉK.

A maradó alakváltozások mechanikájának fontosabb eredmény-képletei.

Az összetartozó feszültségek viszonya szívós anyagok esetén :

$$\frac{q_e}{p_e} = tg^2 \beta_e, \quad (12.)$$

rideg anyagok esetén :

$$\frac{q_t}{p_t} = tg^2 \beta_t.$$

Az anyag jellemző adatai :

$$p_e, \lambda_e, p_f, tg^2 \beta_e, k, q_{max}, \lambda_{max}.$$

A feszültség és a szilárdság viszonya :

$$p_e = \sigma (1 + \lambda_e). \quad (19/b.)$$

A húzóerő képlete :

$$P_1 = \Delta_1 p_1 = \Delta_0 \frac{p_1}{1 + \lambda_1}. \quad (21.)$$

A feszültség változásának törvénye :

$$p_1 = p_a + \frac{p_e - p_a}{\sqrt{\lambda_e}} \sqrt{\lambda_1} \quad (24.)$$

$$p_a = 3,41 p_{0,5 \lambda_e} - 2,41 p_e. \quad (26.)$$

A nyomóerő képlete :

$$Q_1 = \Delta_0 \frac{\partial_0}{\partial_1} q_1 z_1 = \Delta_0 (1 + \lambda_1)^2 q_1 z_1 \quad (29.)$$

$$\frac{\partial_0}{\partial_1} = (1 + \lambda_1)^2$$

A nyomófeszültség változása az egyenletes nyúlásig :

$$q_1 = q_a(\lambda) + \frac{q_e - q_a(\lambda)}{\sqrt{\lambda_e}} \sqrt{\lambda_1}, \quad (31.)$$

$$q_a(\lambda) = 3,41 q_{0,5 \lambda_e} - 2,41 q_{\lambda_e},$$

a teljes szívósság határáig :

$$q_1 = q_a + \frac{q_{max} - q_a}{\lambda_{max}} \sqrt{2 \lambda_1 \lambda_{max} - \lambda_1^2}. \quad (32.)$$

A kötöttség okozta feszültségnövekedés :

$$z_1 = \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n}}, \quad (36.)$$

$$n = \frac{d_1}{2 \vartheta_1 \operatorname{ctg} \beta} \quad (34.)$$

A szívósság mérőszáma:

$$m_e = (0,333 p_a + 0,667 p_e) \lambda_e, \quad (40.)$$

$$m_{\lambda_{\max}} = (0,215 q_a + 0,785 q_{\max}) \lambda_{\max}. \quad (41.)$$

A képlékenység mérőszáma:

$$k = \frac{\pi_1}{p_e} - 1. \quad (45.)$$

A képlékenység és a kontrakció közötti viszony:

$$k = \frac{5}{4(1 - \varphi)(1 + \lambda_e) + 1} - 1. \quad (48.)$$

Ismétlődő üto (nyomó) igénybevételek hatásfoka:

$$\eta = \left(\frac{M}{M_1} \right)^3,$$

az ismétlések száma:

$$J_1 = M \left(\sqrt{\frac{H_0}{H_1}} - 1 \right)^{1/2} \quad (59/b.)$$

Állandó határig terjedő ismétlődő húzó igénybevételek ismétlésének száma:

$$J_1 = 1000 m_e \left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^{1/2} \cdot 10 \left(1,4 k \frac{p_e}{p_1} \right)^{1/2} \quad (61/a.)$$

A szűrőerő és feszültsége:

$$\text{ha } d = 0,758 D \sim 0,503 D$$

$$Q_{sz} = Q_{ny} \frac{d}{D} \text{ és } q_{sz} = q \frac{D}{d}, \quad (62/a. \text{ és } 62/b.)$$

$$\text{ha } d < 0,5 D.$$

$$q_{sz} = q(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) = p \operatorname{tg}^2 \beta(1 + \operatorname{tg}^2 \beta) = Br. \quad (63.)$$

A gömbfelülettel történő szűrés akkor egyenértékű a síkkal véghezvitt szűréssal, ha központi szöge:

$$\varphi = 0^\circ \sim \alpha^\circ \quad (64/a.)$$

értékű.

A nyírás erőszükséglete, ha az anyag izotrópszerű és szívós:

$$R_{\max} = \frac{\vartheta_0 b}{1 + \lambda_e} q_e \frac{\sin 2 \alpha_e}{2};$$

ha az anyag rideg:

$$R_{\max} = \vartheta_0 b \sqrt{q_t p_t \sin^2 \beta_t}, \quad (73.)$$

ha pedig nem izotrópszerű:

$$R_{\max} = \frac{\vartheta_0 b}{1 + \lambda_e} q_e \frac{\sin 2 \alpha_e}{2} (\operatorname{tg} \beta_e \sim \operatorname{ctg} \beta_e). \quad (73/a.)$$

Nyírásnál a berepedés feltétele:

$$k = 3 \sqrt{\frac{\vartheta_e}{\vartheta_b} - 1}. \quad (76/a.)$$

A lyukasztó erő nagysága, ha $d > 2 \delta_1 \operatorname{ctg} \beta_1$ és az anyag izotrópszerű:

$$R_{\max} = 1,15 \frac{\delta_0 d \pi}{1 + \lambda_e} \cdot q_e \frac{\sin 2 \alpha_e}{2}, \quad (78/a.)$$

és ha az anyag nem izotrópszerű:

$$R_{\max} = 1,15 \frac{\delta_0 d \pi}{1 + \lambda_e} q_e \frac{\sin 2 \alpha_e}{2} (\operatorname{tg} \beta_e \sim \operatorname{ctg} \beta_e). \quad (78 b. \text{ és } 78/c.)$$

A ferde élű olló erőszükséglete:

$$R_{ny} = \delta^2 q_e \frac{\sin 2 \alpha}{2} \operatorname{ctg} \psi \left[\frac{1}{(1 + \lambda_e)^2} \left(\frac{k^2}{k^2 + q} + 0,66 \lambda_e \right) + \frac{1}{\operatorname{ctg}^2 \psi \sin 2 \alpha} \frac{0,0794 b}{\delta} \cdot \frac{\operatorname{ctg} \beta (1 + \lambda_e)}{\left(\frac{k^2}{k^2 + q} + \lambda_e \right)} \right]. \quad (206.)$$

A hajlítás esetén, ha $l < 0,8 \delta \operatorname{ctg} \beta$, akkor a nyíróerő hatása érvényesül, ekkor tehát:

$$R = R_{\max nyíró} \sqrt[3]{1 - \frac{l}{\delta \operatorname{ctg} \beta}}, \quad (79.)$$

ha pedig $l > \delta \operatorname{ctg} \beta$, akkor a nyomaték érvényesül:

$$\text{ilyenkor:} \quad M = Q_1 l_1 = Q_2 l_2,$$

$$\frac{1}{\rho_p} = \frac{1}{\delta_p} \cdot \frac{\lambda_1}{1 + \lambda_1}, \quad (80.)$$

$$\delta_p = \delta \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}, \quad (80/c.)$$

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{L}{2 \rho_p} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_e} \right), \quad (83/a.)$$

$$s_1 = \frac{L^2}{8 \rho_p} \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_e} \right)^2 \right]. \quad (83/b.)$$

$$M_{\max} = Q_e L = \Delta \delta 0,9 p_e = \frac{D^2 \pi}{4} D 0,9 p_e \quad (98/a. \text{ és } 100/a.)$$

A hajlításnál a legkisebb görbületi sugár:

$$\rho_q = (0,7 \sim 0,6) \delta. \quad (103.)$$

A hajlított test berepedésének feltétele:

$$\left. \begin{aligned} \rho_{pt} &= \delta_p \frac{1 + \lambda_{\Sigma}}{\lambda_{\Sigma}} \text{ és } \lambda_{\Sigma} = (1 + \lambda_e) (1 + k) - 1, \\ \text{és } \rho_{qt} &= \rho_{pt} - \delta = \delta \left(\frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} \cdot \frac{1 + \lambda_{\Sigma}}{\lambda_{\Sigma}} - 1 \right). \end{aligned} \right\} \quad (104.)$$

Ismételt hajlítások száma:

$$I_k = \left(\frac{\rho_q}{\delta} + 1 \right)^{2k}, \quad (105/c.)$$

de ha $\left(\frac{\rho_q}{\delta} + 1 \right)^2 = 10$, azaz ha $\rho_q = 2,16 \delta$,

akkor $I_k = 10^k$ vagyis:

$$\log I_k = k. \quad (105/d.)$$

Ütőhatásnak kitett bemetszett rudak fajlagos ütőmunkája:

$$R_s = 0,062 p_e \left(\frac{\lambda_{\Sigma}}{1 + \lambda_{\Sigma}} \right)^6. \quad (107/f.)$$

Forgásban levő tengelyek törés feltétele:

$$\log 2 n_t = 0,55 \left[\left(\frac{p_e}{p_1} - 1 \right)^2 \log 1000 m_e + 2 k \log \frac{p_{p1}}{\delta} \right], \quad (112/a.)$$

$$\rho_{p1} = \frac{EI}{M} + \frac{d}{2} \text{ és } p_1 = \frac{M}{I} \cdot \frac{d}{2}.$$

A csavaró erő nyomatéka körkeresztmetszetű rúd esetén:

$$M_e = R^3 1,57 q_e \frac{\sin 2 \alpha}{2}. \quad (115.)$$

Körkeresztmetszetnél λ_1 értéke:

$$\lambda_1 = 118,2 \left(R_{dm} \cdot \frac{n}{h_{dm}} \right)^2. \quad (118.)$$

Négyszögkeresztmetszet esetén a nyomaték:

$$M_e = b \delta^2 \sqrt{1 + \left(\frac{b}{\delta} \right)^2} \cdot 0,166 q_e \frac{\sin 2 \alpha}{2}. \quad (115/a.)$$

Négyszögkeresztmetszetnél λ_1 értéke:

$$\lambda_1 = 227,5 \left(b_{dm} \cdot \frac{n}{h_{dm}} \right)^{2,5}, \quad (117.)$$

A csavarásnál a berepedés feltétele:

$$\lambda_{\Sigma} = 227,5 \left(b_{dm} \frac{n_b}{h_{dm}} \right)^{2,5} = (1 + \lambda_e) (1 + k) - 1. \quad (121.)$$

A forgácsolás erőszükséglete: ha $\gamma = 90^\circ$:

$$Q_{max} = \delta b \sqrt{z_b} q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \left(1 + \frac{\lambda_{max}}{4 z_b^3} \right) (1 + f t g^2 \beta), \quad (130.)$$

$$z_b = \sqrt{\frac{(n_b + 1)(2 n_b + 1)}{6 n_b}} \text{ és } n_b = \frac{b}{2 \delta}, \quad (124.)$$

ha $\gamma < 90^\circ$:

$$Q_{max} \left(\frac{1 - ctg \gamma ctg \beta}{\sin^2 \gamma} \right) \delta b \sqrt{z_b} q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} \left(1 + \frac{\lambda_{max}}{4 z_b^3} \right) (1 + f t g^2 \beta) \quad (133/b.)$$

A karcolás erőszükséglete, ha $\gamma = 90^\circ$:

$$Q_{max} \delta b \sqrt{z_b} \cdot q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} (1 + f t g^2 \beta) \left(1 + \frac{\delta}{3 b t g^3 \beta} \right) + 1,33 \delta^2 q_e \sin^2 \beta \frac{1 + \lambda_{max}}{1 + \lambda_e}. \quad (140.)$$

Belső nyomással terhelt csövek berepedésének feszültsége, ha fenéknymás nem hat rájuk és ha az anyag szívós:

$$q_{bmax} \frac{\delta}{r} \cdot \frac{1}{2} \left[p_a \left(1 - \frac{r}{R} \right) + p_e \left(1 + \frac{r}{R} \right) \right] \frac{100}{\left(1 + \lambda_e \frac{r}{R} \right) (1 + \lambda_e)}, \quad (148.)$$

ha pedig rideg:

$$q_{bmax} \frac{\delta}{r} \cdot \frac{1}{2} \pi_1 \left(1 + \frac{r}{R} \right) \frac{\delta}{r} 100 = \frac{1}{2} p_t \left(1 + \frac{r}{R} \right) \frac{\delta}{r} 100, \quad (148/a.)$$

Ha a belső nyomással terhelt csövek q_k külső nyomással is terheltetnek, akkor a törést okozó belső nyomás:

$$q'_{bmax} = q_{bmax} + q_k.$$

Zárt csőben kifejtethető belső nyomás legnagyobb értéke :

$$q'_{b\max} = q_{b\max} \left(1 + \sqrt{\frac{r^2}{R^2 - r^2} \frac{tg^2 \beta}{q_{b\max}}} \right). \quad (155.)$$

A kovácsolás munkaszükséglete :

$$M_B = \Delta \vartheta q_{sz} \sqrt{z_b} \ln \frac{\vartheta}{\vartheta_1} = 2 K q_{sz} \sqrt{z_b} \frac{\vartheta - \vartheta_1}{\vartheta + \vartheta_1} = K q_{sz} \sqrt{z_b} \cdot 2,3 \log \frac{\vartheta}{\vartheta_1}. \quad (163/b.)$$

A hengerelt tárgy szélesbbedése :

$$b_1 = b \left[1 + \frac{1}{z_b^3} \left(\sqrt{\frac{\vartheta}{\vartheta_1}} - 1 \right) \right]. \quad (177/a.)$$

A hengerlés munkalóerőkben :

$$N_B = \frac{\Delta_k v_k}{75} q_{sz} \ln \frac{\vartheta}{\vartheta_1} = \frac{v_k}{75} (\Delta - \Delta_1) q_{sz}. \quad (180/a.)$$

A hengerek csapnyomása :

$$Q = \frac{q_{sz}}{2} (\Delta - \Delta_1) \sqrt{\frac{2 \frac{D}{\vartheta_1}}{\frac{\vartheta}{\vartheta_1} - 1}}. \quad (181/c.)$$

Az 1 kg. anyag kiszorításához szükséges hengerlési munka lóerőkben :

$$E = \frac{N_k - N_{\bar{u}}}{v_k (\Delta - \Delta_1) \rho}. \quad (184.)$$

Négyszögkeresztmetszet esetén $E = 2,6 q_{sz}$ tartók esetén :

$$E = 9,8 q_{sz}.$$

A dróthúzás munkaszükséglete :

$$N_k - N_{\bar{u}} = \frac{\Delta_k V_k}{75} q_{sz} \ln \frac{\Delta}{\Delta_1} \left(1 + f \sqrt{\frac{2 D}{\vartheta - \vartheta_1}} - 1 \right). \quad (189.)$$

A lemezmélyítéshez szükséges erő, ha a szerszám éles :

$$Q_{\max} = \frac{D_1 \pi}{2 l} \vartheta^2 0,9 p_e, \quad (200.)$$

ha pedig élei ρ sugárnak megfelelően vannak gömbölyítve :

$$Q_{\max} = \frac{(D_1 + 2 \rho) \pi}{2 (l + 0,88 \rho)} \cdot \vartheta^2 0,9 p_e. \quad (200'/a.)$$

Vágás γ ékszögű szerszámmal :

$$Q = \vartheta b \frac{2 \lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}} q_{sz} \sqrt{z_b} \sqrt{tg \gamma}, \quad (213.)$$

$$n_b = \frac{b}{2 \vartheta \frac{\lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}} \cdot tg \gamma}.$$

Harapás γ ékszögű szerszámmal :

$$Q_{\max} = \vartheta b \frac{\lambda_{\max}}{1 + \lambda_{\max}} q_{sz} \sqrt{z_b} \sqrt{tg \gamma}. \quad (214.)$$

Metszés gyorsan forgó tárcsával, ha a metszendő anyag vasötvözet:

$$M_{mkg/mp} = Q_{max} v_{sz} = v_t l b q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} 0,18. \quad (219/b.$$

A nagyoló szerszám erőszüksége:

$$Q_{max} = \Delta \cdot \sqrt{z_b} q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} (1 + f t g^2 \beta) \frac{1 - ctg \gamma ctg \beta}{\sin^2 \gamma} \cdot \\ \cdot \left(1 + \frac{\delta}{3 b t g^2 \beta} \right) + 0,66 \delta^2 q_e \sin^2 \beta \frac{1 + \lambda_{max}}{1 + \lambda_e}.$$

A fúrók erőszüksége:

$$Q_{max} = (0,9 \sim 1,18) 2 \delta \sqrt{z_b} q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}} = 2 \frac{D}{d} Q_{kis}. \quad (238. \text{ és } 239/b.$$

$$n = \frac{d}{4 \delta_v} \frac{1}{\sin^2 \varphi'_2}.$$

A marók erőszüksége:

$$Q_{max} = \frac{0,96}{2} b \frac{v_t}{v_{sz}} \delta_v \sqrt{z_b} q_{max} \sqrt{1 + \lambda_{max}}, \quad (249/a.$$

és

$$n_b = \frac{b}{\delta_v}.$$

IRODALOM.

Az I. kötetben felsorolt művek, továbbá:

ERNST A. V. HESSE: Werkzeugmaschinen. Leipzig, 1874.

I. HART: Werkzeugmaschinen für den Maschinenbau. Heidelberg, 1874.

J. THIME: Mémoire sur le rabotage des métaux. St. Petersburg, 1877.

CH. DUGUET: Déformation des corps solides. Paris, 1882.

FR. KICK: Das Gesetz der Proportionalen Widerstände. Leipzig, 1885.

M. Considère, E. HAUFF: Die Anwendung von Eisen und Stahl bei Constructionen. Wien, 1888.

K. KARMARSCH—H. FISCHER: Handbuch der mech. Technologie. Leipzig, 1888—1896.

KNABBE: Fräser, Charkow, 1893.

L. HARTMANN: Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts. Paris, 1896.

EGBERT V. HOYER: Lehrbuch der vergleichenden mechanischen Technologie. Die Verarbeitung der Metalle und des Holzes. Wiesbaden, 1897.

A. MESNAGER: Essai sur la théorie de la déformation permanente des solides. Paris—Nancy, 1898.

DR. A. FÖPPL: Vorlesungen über technische Mechanik. Leipzig, 1900.

HERMANN FISCHER: Die Werkzeugmaschinen. Berlin, 1900.

Communications présentées devant le congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction. Paris, 1901.

DR. C. BACH: Elastizität und Festigkeit. Berlin, 1905.

FR. W. HÜLLE: Die Werkzeugmaschinen und ihre Konstruktionselemente. Berlin, 1906.

C. CODRON: Expériences sur le travail des machines-outils Pour les métaux. Paris, 1906.

KARL MEYER: Die Technologie des Maschinentechnikers. Berlin, 1908.

F. LUDWIK: Elemente der technologischen Mechanik. Berlin, 1909.

J. WOODWORTH—C. HEINE: Die Herstellung von Werkzeugen. Leipzig, 1910.

ERNST PREGER: Die Bearbeitung der Metalle in Maschinenfabriken. Leipzig, 1913.

OTTO MOHR: Abhandlungen aus dem Gebiete der technischen Mechanik. Berlin, 1914.

E. JURTHE und O. MIETZSCHKE: Handbuch der Fräselei. Berlin, 1917.

BAURAT THEOBALD DEMUTH: Mechanische Technologie der Metalle und des Holzes. Wien und Leipzig, 1917.

FRED. W. TAYLOR—A. WALLICHS: Über Dreharbeit und Werkzeugstähle. Berlin, 1917.

SAJTÓHIBÁK.

30. oldalon a 12. képlet előtti sorban $\frac{O_x}{O_y} = \operatorname{tg} \beta$ helyett olv. $\frac{O_x}{O_y} = \operatorname{tg} \beta$.
40. oldalon a 41. pontban előforduló p_f helyett olv. p_a .
51. oldalon felülről a 3. sor 6. és 7-ik szava: »az összes« törlendő.
55. oldalon a 2-ik sorban előforduló képletből a Δ_1 tényező törlendő.
61. oldalon az 57. pont előtt c helyett olv. γ .
77. oldalon a 20. ábra III. képének magyarázásában $\ln(1 - \varepsilon)$ helyett olv.
 $\ln \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} \right)$.
79. oldalon a III. táblázat jobbról számított harmadik rovatában $\lambda_{e(p)}$ helyett olv. $q_{\lambda_{e(p)}}$.
112. oldalon a 68/b. képletből a 2. tényező törlendő.
119. oldalon felülről 7. sorban »alatt nő« helyett olv. »alatt nem nő«.
128. oldalon a 17/b. képlet szám helyett olv. 78/b.
128. oldalon a 78/a., 78/b., 78/c. és alulról a 3-ik sorban levő képletben a »b« helyett olv. $d\pi$.
155. oldalon felülről a 4. szövegsor utolsó szava: *rendszerin* helyett olv. *rendszerint*.
162. oldalon felülről a 4. sorban levő $\lambda_{\Sigma} = (1 + \lambda_e)(1 + k) -$ helyett olv.
 $\lambda_{\Sigma} = (1 + \lambda_e)(1 + k) - 1$.
166. oldalon felülről a 3. sorban levő r helyett olvasandó: ρ .
166. oldalon alulról 8. sorban r helyett olv. ρ .
177. oldalon alulról a 3. sorban λ_{max} helyett olv. λ_{Σ} .
184. oldalon a 122/a. képletben Q_v helyett olv. Q .
184. oldalon alulról 1-ső és 3-ik sorban levő $\frac{1}{\sin \gamma \cos \gamma}$ tényező helyett olv. $\frac{2}{\sin \gamma}$.
192. oldalon felülről 12. szövegsorban »90-ú« helyett olv. »90°-ú«.
198. oldalon felülről a 11. sorban a második szó után . teendő.
240. oldalon alulról a 3. sorban az első szó elébe helyezd az f betűt.
253. oldalon levő 141. ábrán a metszetek vonalozása hiányzik.
257. oldalon felülről a 19. sorban mm/sec helyett olv. mm .
279. oldalon a legutolsó sorban, a második képletben c helyett olv. C .
307. oldalon a 118. ábra alatt »permetező gép« helyett olv. »peremező gép«.
367. oldalon levő 153. ábra II. rajzán a B tengely metszetén a vonalkázás hiányzik.



170489

